

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-016816

(43)Date of publication of application : 22.01.1999

(51)Int.Cl.

H01L 21/027  
G03F 7/20

(21)Application number : 09-168406

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 25.06.1997

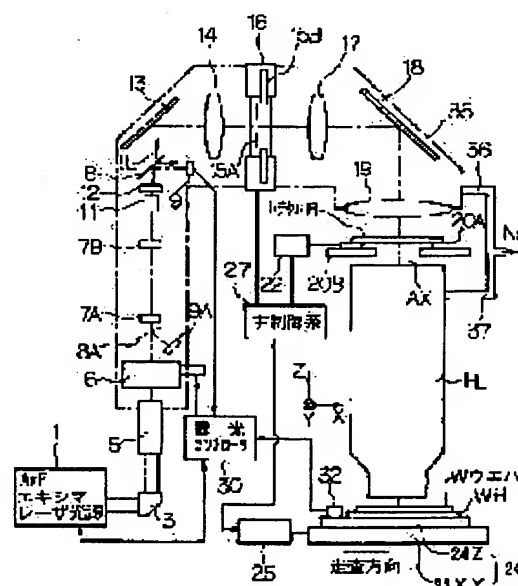
(72)Inventor : TANAKA YASUAKI

## (54) PROJECTION ALIGNER, METHOD FOR EXPOSURE WITH THE DEVICE, AND METHOD FOR MANUFACTURING CIRCUIT DEVICE USING THE DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a projection aligner wherein a control precision for exposure value is prevented from degrading, which is caused by irradiation fluctuation (or pulse energy fluctuation) on a substrate which is generated by transmittance fluctuation of a projection optical system.

**SOLUTION:** The light quantity of ultraviolet pulse light IL incident on a projection optical system PL is measured through an integrator sensor 9, the light quantity or the ultraviolet pulse light IL transmitting the projection optical system PL is measured through an irradiation amount monitor 32, and the amount of transmission light is divided by an incident light amount, thus calculating the transmittance of the projection optical system PL. With the transmittance obtained as a function of an integration value of the incident light quantity, the integration value of the incident light quantity measured through the integrator sensor 9 is substituted for the function at exposure to estimate the transmittance of the projection optical system PL, and, according to the transmittance, the output of, for example, an excimer laser light source 1 is controlled for controlling an exposure value.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

24.06.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] In the projection aligner equipped with the illuminating system which irradiates the pattern formed in the mask by the predetermined exposure energy beam of an ultraviolet area, and the projection optical system which projects the image of the pattern of said mask on a substrate The amount measurement system of incidence energy which measures the amount of incidence energy to said projection optical system, The amount addition system of incidence energy which integrates the measurement value of this amount measurement system of incidence energy, and calculates the total amount of incidence energy to said projection optical system, The amount measurement system of injection energy which measures the amount of injection energy from said projection optical system, The permeability property storage section which memorizes the rate of change over said total amount of incidence energy of the permeability of said projection optical system computed based on the measurement result of said amount measurement system of incidence energy, said amount addition system of incidence energy, and said amount measurement system of injection energy, The rate of change of the permeability memorized by this permeability property storage section, and the operation system which computes the permeability of said projection optical system serially based on the output of said amount addition system of incidence energy, The projection aligner characterized by establishing the light exposure control system which controls the light exposure of said exposure energy beam irradiated on said substrate through said projection optical system according to the permeability computed by this operation system from said illuminating system.

[Claim 2] It is a projection aligner according to claim 1. Said permeability property storage section Besides the rate of change over said total amount of incidence energy of the permeability of said projection optical system The rate of change of the permeability of said projection optical system over the elapsed time after interrupting the exposure of said exposure energy beam is memorized. Said operation system The projection aligner characterized by computing the permeability of said projection optical system serially based on the elapsed time after interrupting the output of two kinds of rate of change of the permeability memorized by said permeability property storage section, and said amount addition system of incidence energy, and the exposure of said exposure energy beam.

[Claim 3] The projection aligner characterized by having the stage system which is a projection aligner claim 1 or given in two, and moves said mask and said substrate, respectively, and carrying out the synchronous scan of said mask and said substrate relatively to said projection optical system through said stage system at the time of exposure.

[Claim 4] Scanning said mask to said projection optical system through said stage system like the time of actual exposure, in case it is the exposure approach using a projection aligner according to claim 3 and the transmission of said projection optical system is measured The measurement value by said amount measurement system of incidence energy and said amount measurement system of injection energy is incorporated. The permeability of said projection optical system is computed by amending this measurement value that was crowded picking by the pattern abundance of said mask. The exposure approach characterized by controlling the light exposure of said exposure energy beam to said substrate based on the transmission amended and obtained by the pattern abundance of said mask at the time of the exposure to said substrate.

[Claim 5] The 1st process which is the manufacture approach of the circuit device for manufacturing a predetermined circuit device using a projection aligner claims 1 and 2 or given in three, and applies sensitive material on said substrate, Based on the rate of change of the permeability memorized by said permeability property storage section, and the output of said amount addition system of incidence energy, the permeability of said projection optical system is serially computed through said operation system.

Controlling the light exposure of said exposure energy beam irradiated by said light exposure control system on said substrate through said projection optical system according to the this permeability computed from said illuminating system The manufacture approach of the circuit device characterized by having the 2nd process which exposes the pattern image of said mask to each shot field on said substrate, the 3rd process which performs development of said substrate, and the 4th process which forms a circuit pattern in each shot field on said substrate after this development, respectively.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the projection aligner used in order to imprint a mask pattern on a substrate through a projection optical system at the lithography process for manufacturing a semiconductor device, a liquid crystal display component, or the thin film magnetic head, the exposure approach using this projection aligner, and the manufacture approach of the circuit device using this projection aligner.

[0002]

[Description of the Prior Art] Since it corresponds to improvement the degree of integration of a semiconductor device, and whenever detailed, in the aligner which bears the lithography process (it consists of a resist spreading process, an exposure process, and a resist development process typically) for manufacturing a semiconductor device, it is required that resolution, imprint fidelity, etc. should be raised more. Thus, in order to raise resolving power and imprint fidelity, it is necessary to carry out light exposure control for exposing the resist first applied on the wafer as a substrate with proper light exposure to high degree of accuracy.

[0003] Now, in the manufacture site of a semiconductor device, the cutback projection aligner (stepper) of a step-and-repeat method using the cutback projection optical system it is 1/5 time whose projection scale factor from reticle to a wafer of this is mainly used abundantly among the bright lines of a mercury electric-discharge lamp considering i line with a wavelength of 365nm as illumination light for exposure. Moreover, in order to avoid that the projection visual field of a cutback projection optical system becomes extremely large as a trend for the past several years with enlargement of the size (chip size) of the circuit device formed on a wafer By carrying out constant speed scanning to a cutback scale factor with the same velocity ratio in the direction which corresponds a wafer within the visual field by the side of the image surface of the projection optical system, carrying out constant speed scanning of the reticle in the predetermined direction within the visual field by the side of the body side of the projection optical system The cutback projection aligner of step - which carries out scan exposure of the overview of the circuit pattern of reticle to each field on a wafer, and - scanning method also attracts attention.

[0004] In the conventional light exposure control, the permeability to the illumination light for exposure of a projection optical system had calculated the light exposure in the front face of a wafer for a short time as what is not changed using the permeability of the projection optical system measured at a certain event for example, in front of exposure from the quantity of light and the permeability of the illumination light which branched within the illumination-light study system. And the exposure time was controlled so that the integrated value of the light exposure calculated would turn into a predetermined value, if it was a stepper, and when it was step - and - scanning method, the output of the light source or the scan speed was controlled so that the light exposure calculated became a fixed value.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Recently, in order to short-wavelength-ize exposure wavelength and to heighten resolution more, the projection aligner of the step-and-repeat method which used ultraviolet pulsed light with a wavelength [ from an excimer laser ] of about 250nm or less as illumination light for exposure, step -, and - scanning method is developed, and the projection aligner which used the KrF excimer laser with a wavelength of 248nm is beginning to be completely fed into a production line. Furthermore, the ArF excimer laser which outputs ultraviolet pulsed light with a wavelength [ of short wavelength ] of 193nm more is also developed, and promising \*\* of this is carried out as the future light source for exposure.

[0006] Since some absorption bands of oxygen exist in the wavelength band in the natural oscillation

condition of that ultraviolet pulsed light when using this ArF excimer laser as the exposure light source, it is necessary in the wavelength property of pulsed light to narrow-band-ize those absorption bands on the avoided wavelength. Furthermore, it is necessary to make it an environment in which oxygen is not contained as much as possible in the illumination-light way from the exposure light source to reticle, and the projection optical path from reticle to a wafer, i.e., to also permute most of those illumination-light ways and projection optical paths with inert gas (nitrogen gas, gaseous helium, etc.). An example of the projection aligner using such an ArF excimer laser is indicated by JP,6-260385,A and JP,6-260386,A.

[0007] As practical \*\*\*\*\* material which has desired permeability to the ultraviolet pulsed light (wavelength of about 250nm or less) from the above excimer lasers, two, a current place, a quartz (SiO<sub>2</sub>), and a fluorite (fluorite: CaF<sub>2</sub>), are only known. Of course, although magnesium fluoride, lithium fluoride, etc. are known in addition to this, in order to consider as the \*\*\*\*\* material for projection aligners, it is necessary to solve the problem of workability, the problem of endurance, etc.

[0008] As a projection optical system carried in a projection aligner, the catadioptric system (reflective refractive media) constituted from combination of a refraction optical element (lens element) and a reflected light study component (especially concave mirror) other than dioptric \*\* (refractive media) is also used about this. Even if it adopts the projection optical system of which type, for using a refraction optical element (penetrable optical element), it is unchanging, and, at present, two kinds of \*\* material of a quartz and a fluorite must be used as a refraction optical element. furthermore, make it a refraction optical element -- make it a reflected light study component -- multilayers, such as an antireflection film and a protective layer, are vapor-deposited by the front face, and it is manufactured so that the engine performance as an optical element simple substance may be in a predetermined condition. It is the how large engine performance which it should take notice of especially here the absolute value of the permeability of a lens element simple substance or the absolute value of the reflection factor of a reflected light study component simple substance can take.

[0009] For example, in the case of the lens element simple substance, generally the coat of the antireflection film etc. is carried out to both the plane of incidence of light, and the injection side of the 2nd page, and it is devised so that permeability may be raised as much as possible. The permeability of the whole projection optical system becomes quite small only by there being many lens elements used in order to amend various kinds of aberration properties good in precise image formation optical system as 20-30 sheets, and the permeability of each lens element being slightly lower than 100% like a projection optical system. Moreover, also by the projection optical system containing some reflected light study components, when the reflection factor of each reflected light study component is low, the permeability of the whole projection optical system also becomes low.

[0010] if each permeability of these lens elements is made into 96% when the number of the lens elements which constitute the image formation optical path of a projection optical system is 25 -- the permeability epsilon as the whole projection optical system -- about 36% ( $0.96^{25} \times 100$ ) -- it becomes and becomes small. If the measures of whether buildup of the reinforcement (energy) of the illumination light for exposing the circuit pattern image of reticle on a wafer is aimed at or to use the resist for ultraviolet rays with more high sensibility are not taken when the transmission of a projection optical system is low, a throughput will fall according to buildup of the exposure time. Then, it is possible to prepare a high power excimer laser as a cure realizable by the projection aligner side.

[0011] However, when various kinds of exposure experiments were conducted with the projection aligner with comparatively large field size using an excimer laser, the new phenomenon of changing dynamically the permeability of the coat material (for example, thin films, such as an antireflection film) of the optical element within a projection optical system or an optical element between short time was discovered by the exposure of the illumination light (KrF excimer laser light or ArF excimer laser light) of an ultraviolet wavelength region. It has turned out that this phenomenon may be generated completely similarly about the optical element of the illumination-light study systems which illuminate not only the optical element within a projection optical system but reticle, and the reticle (quartz plate) itself.

[0012] the gas (air --) to which such a phenomenon exists in the space in a projection optical path and an illumination-light way The molecule of the organic substance which generates the impurity and optical element which are contained in nitrogen gas etc. from the adhesives for fixing to a lens-barrel etc., Or it is thought that the impurity (for example, matter which diffuses a water molecule, the molecule of a hydrocarbon, or illumination light other than these) generated from the walls (painted surface for acid resisting etc.) of the lens-barrel adheres on the surface of an optical element, or it happens by advancing into an illumination-light way (floating). Consequently, the inconvenience of changing comparatively sharply

the permeability of a projection optical system and the permeability of an illumination-light study system arises.

[0013] For example, as for the permeability epsilon of the whole projection optical system, the above-mentioned lens element will fall to about 27.7% ( $\epsilon \times 0.9525 \times 100$ ), supposing permeability epsilon fell by 25 sheets and the permeability of a lens element simple substance falls only 1% uniformly by about 36% of projection optical system. Fluctuation of such permeability changes the light exposure which should be given on a wafer from a proper value, and has a possibility of degrading the imprint fidelity of a detailed pattern with a design line breadth of about 0.25-0.18 micrometers imprinted on a wafer. In the conventional projection aligner, the optical reinforcement of the illumination light is detected by the position within the optical path of an illumination-light study system, and the pulse luminous intensity (energy per one pulse) from an excimer laser is adjusted so that proper light exposure may be obtained based on the optical reinforcement, as indicated by JP,2-135723,A, for example. For this reason, in the conventional projection aligner, permeability fluctuation of the illumination-light study system after the part in the illumination-light way which has detected the reinforcement of the illumination light for light exposure control, or a projection optical system was not considered at all, but there was a possibility that exact light exposure control might become impossible.

[0014] Moreover, when the exposure of the ultraviolet pulsed light to a projection optical system is suspended, the phenomenon in which the permeability of the projection optical system is recovered gradually (fluctuation) is also found out. In such a case, if the exposure of ultraviolet pulsed light is started again and exposure is resumed, since the permeability of a projection optical system will be changed, there is a possibility that exact light exposure control may become difficult. This invention sets it as the 1st object to offer the projection aligner which prevented degradation of the control precision of the light exposure resulting from the illuminance fluctuation (or pulse energy fluctuation) on the substrate generated by permeability fluctuation of a projection optical system in view of this point.

[0015] Furthermore, this invention sets it as the 2nd object to offer the exposure approach by which good light exposure control precision is acquired using such a projection aligner. Furthermore, this invention sets it as the 3rd object to offer the manufacture approach of the circuit device which can form a circuit pattern on a substrate with high imprint fidelity using such a projection aligner.

[0016]

[Means for Solving the Problem] The illuminating system which irradiates the pattern with which the projection aligner by this invention was formed in the mask (R) by the predetermined exposure energy beam of an ultraviolet area (1-19), In the projection aligner equipped with the projection optical system (PL) which projects the image of the pattern of the mask on a substrate (W) The amount measurement system of incidence energy which measures the amount of incidence energy to a projection optical system (PL) (9), The amount addition system of incidence energy which integrates the measurement value of this amount measurement system of incidence energy, and calculates the total amount of incidence energy to that projection optical system (64), The amount measurement system of injection energy which measures the amount of injection energy from the projection optical system (32), The amount addition system of amount measurement system of incidence energy (9) incidence energy (64), And the permeability property storage section which memorizes the rate of change over the total amount of incidence energy of the permeability of the projection optical system computed based on the measurement result of the amount measurement system of injection energy (32) (68), The rate of change of the permeability memorized by this permeability property storage section, and the operation system which computes the permeability of that projection optical system serially based on the output of the amount addition system of incidence energy (64) (67), The light exposure control system (25 1, 69; 22, 27) which controls the light exposure of that exposure energy beam irradiated on that substrate through that projection optical system according to the permeability computed by this operation system from that illuminating system is established.

[0017] According to this this invention, the transmission of a projection optical system can be mostly presumed to high degree of accuracy on real time by measuring and memorizing transmission change of a projection optical system to the total incidence energy of an exposure energy beam beforehand, and applying to transmission change memorized previously, measuring the energy which carries out incidence to a projection optical system from the time of exposure initiation, i.e., exposure initiation of an exposure energy beam, at the time of actual exposure. By controlling light exposure to offset change of the permeability, degradation of the control precision of the light exposure resulting from the illuminance fluctuation (or pulse energy fluctuation) on the substrate generated by permeability fluctuation of a projection optical system can be prevented.

[0018] The permeability property storage section (68) in this case, besides the rate of change over that total amount of incidence energy of the permeability of that projection optical system The rate of change of the permeability of the projection optical system over the elapsed time after interrupting the exposure of the exposure energy beam is memorized. An operation system (67) It is desirable to compute the permeability of the projection optical system serially based on the elapsed time after interrupting the output of two kinds of rate of change of the permeability memorized by the permeability property storage section (68) and the amount addition system of incidence energy (9) and the exposure of the exposure energy beam. Even when the permeability of a projection optical system is not immediately recovered enough after interruption of the exposure of an exposure energy beam by this, change of the permeability of a projection optical system can be presumed to high degree of accuracy.

[0019] Moreover, it may have the stage system (20A, 20B, 24) which moves a mask and a substrate, respectively, and the synchronous scan of the mask and its substrate may be relatively carried out to the projection optical system through the stage system at the time of exposure. This means having applied this invention to the projection aligner of a scan exposure method. In this case, in order to control light exposure, the output of the exposure light source is controlled, and also a scan speed may be controlled.

[0020] Moreover, scanning the mask to the projection optical system through the stage system like the time of actual exposure, in case the exposure approach of this invention is the exposure approach which used the projection aligner and the transmission of the projection optical system is measured The measurement value by the amount measurement system of incidence energy (9) and the amount measurement system of injection energy (32) is incorporated. Thus, the permeability of the projection optical system is computed by amending the incorporated measurement value by the pattern abundance (or pattern permeability) of the mask. It is desirable to control the light exposure of the exposure energy beam to the substrate based on the transmission amended and obtained by the pattern abundance of the mask at the time of the exposure to the substrate. It is prevented by this that the permeability of a projection optical system is incorrect-measured under the effect of the pattern abundance (pattern permeability) of a mask.

[0021] Moreover, the 1st process which the manufacture approach of the circuit device of this invention is the manufacture approach of the circuit device for manufacturing a predetermined circuit device using the projection aligner of this invention, and applies sensitive material on the substrate (step 173), Based on the rate of change of the permeability memorized by the permeability property storage section (68), and the output of the amount addition system of incidence energy (9), the permeability of the projection optical system is serially computed through an operation system (68). Thus, controlling the light exposure of the exposure energy beam irradiated by the light exposure control system on the substrate through the projection optical system according to the permeability computed from the illuminating system The 2nd process which exposes the pattern image of the mask to each shot field on the substrate (step 174), It has the 3rd process (step 175) which develops that substrate, and the 4th process (step 176) which forms a circuit pattern in each shot field on that substrate after this development, respectively. In this case, since proper light exposure is obtained at an exposure process, the imprint fidelity of a circuit pattern improves.

[0022]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, with reference to a drawing, it explains per gestalt of operation of the 1st of this invention. This example applies this invention, when exposing with the projection aligner of step - and - scanning method. the beam matching unit (BMU) 3 which drawing 1 shows the outline configuration of the projection aligner of this example, and contains a movable mirror for ultraviolet pulsed light IL as an exposure light narrow-band-ized on the wavelength of 193nm from the ArF excimer laser 1 to make an optical path match in location between the bodies of an aligner etc. in this drawing 1 -- a passage -- the pipe 5 of protection-from-light nature -- minding -- the adjustable beam attenuator 6 as an optical attenuator -- incidence -- carrying out . While the exposure control unit 30 for controlling the light exposure to the resist on a wafer controls initiation of luminescence of the ArF excimer laser 1 and a halt, and the output that becomes settled with an oscillation frequency and pulse energy in a list, the rate of dimming to the ultraviolet pulsed light in the adjustable beam attenuator 6 is adjusted gradually or continuously. In addition, as an exposure light, also when using KrF excimer laser light with a wavelength of 248nm or a laser beam with another wavelength of about 250nm or less, this invention is applied.

[0023] Incidence of the ultraviolet pulsed light IL which passed along the adjustable beam attenuator 6 is carried out to the fly eye lens 11 through the beam plastic surgery optical system which consists of lens systems 7A and 7B arranged in accordance with a predetermined optical axis. Thus, although the number of the fly eye lenses 11 is one in this example, you may make it arrange two steps of fly eye lenses to a serial as it is indicated by JP,1-235289,A in order to raise illuminance distribution homogeneity for example. The



aperture-diaphragm system 12 of an illumination system is arranged in the injection side of the fly eye lens 11. The circular aperture diaphragm for lighting, the aperture diaphragm for deformation lighting which consists of two or more small openings which carried out eccentricity, the aperture diaphragm for zona-orbicularis lighting, etc. are usually arranged free [ a switch ] at the aperture-diaphragm system 12.

Incidence of the ultraviolet pulsed light IL which was injected from the fly eye lens 11 and passed the predetermined aperture diaphragm in the aperture-diaphragm system 12 is carried out to the beam splitter 8 with a low reflection factor with high transmission. Incidence of the ultraviolet pulsed light reflected by the beam splitter 8 is carried out to the integrator sensor 9 which consists of a photodetector, and the detecting signal of the integrator sensor 9 is supplied to the exposure control unit 30.

[0024] The permeability of a beam splitter 8 and a reflection factor are beforehand measured by high degree of accuracy, the memory in the exposure control unit 30 memorizes, and the exposure control unit 30 is constituted so that the monitor of the amount of incident light and its integral value of ultraviolet pulsed light IL to a projection optical system PL can be carried out more nearly indirectly than the detecting signal of the integrator sensor 9. In addition, in order to carry out the monitor of the amount of incident light to a projection optical system PL, beam splitter 8A is arranged, the reflected light from this beam splitter 8A is received by photodetector 9A, and you may make it supply the detecting signal of photodetector 9A to the exposure control unit 30 before lens system 7A into drawing 1 , as a two-dot chain line shows.

[0025] Incidence of the ultraviolet pulsed light IL which penetrated the beam splitter 8 is carried out to fixed lighting field-diaphragm (fixed blind) 15A within the reticle blind device 16 through the condensing lens system 14. Fixed blind 15A has opening arranged so that it may be extended in the center within the circular visual field of a projection optical system PL in the scan exposure direction and the direction which intersected perpendicularly the shape of a straight-line slit, and in the shape of a rectangle (collectively henceforth "the shape of a slit") as indicated by JP,4-196513,A. Furthermore, in the reticle blind device 16, with fixed blind 15A, movable blind 15B for making adjustable independently width of face of the scan exposure direction of a lighting visual field field is prepared, and drawing requires reduction of a scan migration stroke of a reticle stage, and reduction of the width of face of the protection-from-light band of Reticle R by this movable BURAI 15B. The information on the numerical aperture of movable blind 15B is supplied also to the exposure control unit 30, and the value which multiplied the amount of incident light calculated from the detecting signal of the integrator sensor 9 by the numerical aperture serves as the actual amount of incident light to a projection optical system PL.

[0026] Ultraviolet pulsed light IL orthopedically operated in the shape of a slit by fixed blind 15A of the reticle blind device 16 irradiates a lighting field [ \*\*\*\* / opening of the shape of a slit of fixed blind 15A ] by uniform intensity distribution on the circuit pattern space of Reticle R through the lens system 17 for image formation, the reflective mirror 18, and the main condensing lens system 19. That is, the arrangement side of opening of fixed blind 15A or opening of movable blind 15B serves as conjugate mostly with the pattern side of Reticle R by the synthetic system of the lens system 17 for image formation, and the main condensing lens system 19.

[0027] the basis of ultraviolet pulsed light IL -- the image of the circuit pattern in the lighting field of Reticle R -- a both-sides tele cent -- through the rucksack projection optical system PL, it is the predetermined projection scale factor beta (beta is  $1/4$ , and  $1/5$  grades), and the exposure field of the shape of a slit of the resist layer on the wafer W arranged in the image formation side of a projection optical system PL imprints. The exposure field is located on [ of two or more shot fields on a wafer ] one shot field. Although the projection optical system PL of this example is dioptric \*\* (refractive media), it cannot be overemphasized that a catadioptric system (reflective refractive media) can also be used. Hereafter, the Z-axis is taken to the optical axis AX of a projection optical system PL at parallel, the X-axis is taken to a scanning direction (direction parallel to the space of drawing 1 here) in a flat surface vertical to the Z-axis, and a Y-axis is taken and explained to the non-scanning direction (direction vertical to the space of drawing 1 here) which intersects perpendicularly with a scanning direction.

[0028] At this time, adsorption maintenance of the reticle R is carried out on reticle stage 20A, and reticle stage 20A is laid so that it can move slightly to the direction of X, the direction of Y, and a hand of cut, while being able to carry out uniform migration in the direction of X on reticle base 20B. The two-dimensional location of reticle stage 20A (reticle R) and the angle of rotation are measured by real time with the laser interferometer in the actuation control unit 22. Based on this measurement result and the control information from the main control system 27 which consists of a computer which carries out control control of the actuation of the whole equipment, the drive motors in the actuation control unit 22 (a linear motor, voice coil motor, etc.) perform the scan speed of reticle stage 20A, and control of a location.



[0029] On the other hand, adsorption maintenance of the wafer W is carried out on Z tilt stage 24Z through the wafer holder WH, Z tilt stage 24Z is fixed on X-Y stage 24XY which carries out two-dimensional migration along XY flat surface parallel to the image surface of a projection optical system PL, and the wafer stage 24 consists of Z tilt stage 24Z and X-Y stage 24XY. Z tilt stage 24Z controls the focal location (location of a Z direction) of Wafer W, and a tilt angle, and doubles the front face of Wafer W with the image surface of a projection optical system PL by the autofocus method and the auto leveling method, and X-Y stage 24XY performs stepping to the constant speed scanning to the direction of X of Wafer W and the direction of X, and the direction of Y. The two-dimensional location of Z tilt stage 24Z (wafer W) and the angle of rotation are measured by real time with the laser interferometer in the actuation control unit 25. Based on this measurement result and the control information from the main control system 27, the drive motors in the actuation control unit 25 (linear motor etc.) perform the scan speed of X-Y stage 24XY, and control of a location. The rotational error of Wafer W is amended by rotating reticle stage 20A through the main control system 27 and the actuation control unit 22.

[0030] The main control system 27 sends various information, such as reticle stage 20A and each migration location of X-Y stage 24XY, passing speed, migration acceleration, and location offset, to the actuation control units 22 and 25. And synchronizing with Reticle R being scanned at a rate  $V_r$  in the direction of +X (or the direction of -X) to the lighting field of ultraviolet pulsed light IL through reticle stage 20A at the time of scan exposure, Wafer W is scanned in the direction of -X (or the direction of +X) to the exposure field of the pattern image of Reticle R through X-Y stage 24XY by rate  $\beta \cdot V_r$  ( $\beta$  is a projection scale factor from Reticle R to Wafer W).

[0031] Moreover, the main control system 27 performs control for synchronizing with migration of reticle stage 20A at the time of scan exposure migration of each blade of movable blind 16B prepared in the above-mentioned reticle blind device 16. Furthermore, the main control system 27 sets up the various exposure conditions for carrying out scan exposure of the resist of each shot field on Wafer W with proper light exposure, cooperates also with the exposure control unit 30, and performs the optimal exposure sequence. That is, if the command of the scan exposure initiation to one shot field on Wafer W is emitted by the exposure control unit 30 from the main control system 27, the exposure control unit 30 will compute the integral value of the amount of incident light to a projection optical system PL through the integrator sensor 9 while starting luminescence of the ArF excimer laser 1. The integral value is reset by 0 at the time of scan exposure initiation. And the output (an oscillation frequency and pulse energy) of the ArF excimer laser 1 and the rate of dimming of the adjustable beam attenuator 6 are controlled by the exposure control unit 30 so that the transmission of a projection optical system PL is computed serially and proper light exposure is obtained on each point of the resist on the wafer W after scan exposure according to this transmission from the integral value of that amount of incident light like the after-mentioned. And luminescence of the ArF excimer laser 1 is stopped at the time of termination of the scan exposure to the shot field concerned.

[0032] Moreover, the dose monitor 32 which consists of a photodetector near the wafer holder WH on Z tilt stage 24Z of this example is installed, and the detecting signal of the dose monitor 32 is also supplied to the exposure control unit 30. The dose monitor 32 is having the light-receiving side of wrap magnitude for the whole exposure field by the projection optical system PL, driving X-Y stage 24XY, and setting the exposure field of a projection optical system PL as a wrap location for the light-receiving side, and can measure the quantity of light of ultraviolet pulsed light IL which passed the projection optical system PL. In this example, the permeability of a projection optical system PL is measured using the detecting signal of the integrator sensor 9 and the dose monitor 32. In addition, the illuminance unevenness sensor which has the light sensing portion of the shape of a pinhole for measuring quantity of light distribution in the exposure field instead of the dose monitor 32 may be used.

[0033] In this example, since the ArF excimer laser 1 is used, the adjustable beam attenuator 6, lens systems 7A and 7B, and the subchamber 35 that intercepts each illumination-light way to the fly eye lens 11 - the main condensing lens system 19 from the open air further are formed from the inside of a pipe 5, and the desiccation nitrogen gas (N<sub>2</sub>) which stopped oxygen content very low through piping 36 is supplied in [ whole ] the subchamber 35. Similarly, desiccation nitrogen gas is supplied also to the whole space inside the lens-barrel of a projection optical system PL (space between two or more lens elements) through piping 37.

[0034] When supply of the desiccation nitrogen gas has the high airtightness of the subchamber 35 or the lens-barrel of a projection optical system PL, once a perfect permutation with atmospheric air is performed, it is not necessary to carry out so frequently. However, it is also required to remove those impurity molecules with a chemical filter or an electrostatic filter, carrying out the flow of the nitrogen gas by which

temperature control was carried out compulsorily within an optical path, if the permeability fluctuation to which a water molecule, a hydrocarbon molecule, etc. which are produced from various kinds of matter (\*\* material, coat material, adhesives, a coating, a metal, ceramics, etc.) which exists in an optical path adhere on the surface of an optical element, and happen is taken into consideration.

[0035] Next, with reference to drawing 2 , it explains per [ of the projection optical system PL in the projection aligner of this example ] permeability measurement system. When performing transmission measurement of a projection optical system PL, as shown in drawing 2 , X-Y stage 24XY is driven and the light-receiving side of the dose monitor 32 is set as the exposure field of a projection optical system PL. And pulse luminescence of the ArF excimer laser 1 is started, a part of ultraviolet pulsed light IL which carries out incidence to a beam splitter 8 is reflected, and incidence is carried out to the integrator sensor 9 as ultraviolet pulsed light IL1. With this, incidence of ultraviolet pulsed light IL2 which passed the projection optical system PL is carried out to the dose monitor 32, and the detecting signal of the integrator sensor 9 and the detecting signal of the dose monitor 32 are incorporated by juxtaposition at the exposure control unit 30.

[0036] In drawing 2 , the detecting signal of the integrator sensor 9 is supplied to the direct permeability count section 63 and the amount integral section 64 of incident light as incidence energy  $E_i$  through the peak hold (P/H) circuit 61 and the analog-to-digital converter (hereafter referred to as "ADC") 62 within the exposure control unit 30. Although the direct permeability count section 63, the amount integral section 64 of incident light and the below-mentioned permeability operation part 67, and a control section 69 express with this example the function on the software performed by the microprocessor, respectively, it cannot be overemphasized that those functions may be realized by hardware, respectively.

[0037] On the other hand, the detecting signal of the dose monitor 32 is supplied to the direct permeability count section 63 as transparency energy  $E_o$  through the peak hold circuit 65 and ADC66 within the exposure control unit 30. In the direct permeability count section 63, the division of the transparency energy  $E_o$  is done with the incidence energy  $E_i$ , and the permeability  $T$  which computed and computed the permeability  $T$  of a projection optical system PL ( $= E_o/E_i$ ) is supplied to the permeability operation part 67. Moreover, in the amount integral section 64 of incident light, incidence gross energy  $e$  which carries out incidence and which integrated with the incidence energy  $E_i$  for every ultraviolet pulsed light (addition), and computed and computed incidence gross energy  $e$  is supplied to the permeability operation part 67. Incidence gross energy  $e$  is reset by zero just before initiation of pulse luminescence. The permeability operation part 67 is approximated by functions [ of incidence gross energy  $e$  to which the permeability  $T$  supplied is supplied ] (secondary high order function [ more than ] or exponential function)  $T(e)$ , and stores this function  $T(e)$  in memory 68. And at the time of exposure, by substituting incidence gross energy  $e$  supplied from the amount integral section 64 of incident light for function  $T(e)$  by which reading appearance was carried out from that memory 68, the permeability operation part 67 asks for the permeability  $T$  of the current projection optical system PL (now), and supplies this permeability  $T$  (now) to a control section 69. Although not illustrated, the incidence energy  $E_i$  from ADC62 is also supplied to the control section 69, and the rate of dimming in the output and the adjustable beam attenuator 6 of the ArF excimer laser 1 is controlled by the control section 69 so that the light exposure of the ultraviolet pulsed light in each point of the resist on Wafer W turns into proper light exposure using the incidence energy  $E_i$  and transmission  $T$  (now).

[0038] Next, in this example, change of the permeability of a projection optical system PL is measured, and with reference to the flow chart of drawing 3 , it explains about the actuation in the case of performing scan exposure, performing light exposure control based on the measurement result. Measurement of the permeability is performed at the time of operation initiation of a projection aligner, and exposure actuation initiation etc. First, in step 101 of drawing 3 , as shown in drawing 2 , the light-receiving side of the dose monitor 32 is set as the exposure field of a projection optical system PL, and the synthetic numerical aperture of fixed blind 15A and movable blind 15B is set up to 100%. In this example, in order for the object to ask for the relation of the maximum of incidence energy and transmission to a projection optical system PL, Reticle R is removed from reticle stage 20A, and the scan of reticle stage 20A is not performed, either. And pulse luminescence of the ArF excimer laser 1 is started.

[0039] In step 102 following it, the incidence energy  $E_i$  corresponding to the energy which carries out incidence to a projection optical system PL actually, and the transparency energy  $E_o$  corresponding to the energy which passes a projection optical system PL actually are generated with the exposure control unit 30 of drawing 2 by incorporating the output signal of the integrator sensor 9 and the dose monitor 32 to juxtaposition. And the incidence gross energy  $e$  till then is computed for every pulse luminescence by

integrating the amount integral section 64 of incident light of drawing 2 with the incidence energy  $E_i$ , and permeability  $T (= E_o/E_i)$  is computed in the direct permeability count section 63. This actuation is continuously performed for every pulse luminescence till measurement termination. In addition, what is necessary is to use a sample hold circuit for a change of the peak hold circuits 61 and 65, and just to compute permeability  $T$  with a predetermined time interval in the direct permeability count section 63 in the amount integral section 64 of incident light that what is necessary is just to carry out sequential addition of the detecting signal with a predetermined sampling rate, if exposure light is continuation light.

[0040] Next, in step 103, incidence gross energy [ in each measurement event ]  $e$  and permeability  $T$  are incorporated by the permeability operation part 67 in the exposure control unit 30 at intervals of measurement which becomes sufficiently short spacing, for example to the exposure time of one shot. At the following step 104, although it is judged whether it is measurement termination, measurement time amount is set up so that incidence gross energy  $e$  at the time of measurement termination may become sufficiently large to the incidence gross energy accumulated between exposure of one shot. Measurement time amount is number sec- number 10sec as an example. And after it repeats incorporation actuation (count actuation) of the measurement data based on the transmission operation part 67 of step 103 at intervals of predetermined measurement and predetermined measurement time amount passes, actuation shifts to step 105 from step 104, and is stored in memory 68 in quest of transmission [ of a projection optical system PL ]  $T(e)$  by the transmission operation part 67 as a function of a series of incidence gross energy  $e$ . This is equivalent to memorizing the condition of permeability change of a projection optical system PL over the incidence energy  $E_i$ . Function [ of the permeability ]  $T(e)$  is used at step 109 under scan exposure.

[0041] Then, when performing scan exposure, unlike a step-and-repeat method, in the projection aligner of step - and - scanning method, performing light exposure control using both a scan speed and the light control (the rate control of dimming of the adjustable beam attenuator 6 being included) of the exposure light source is performed. That is, considering one on a wafer, the scan speed of the wafer stage 24 and the quantity of light of the exposure light source are controlled so that the predetermined light exposure to which the point becomes settled from resist sensibility etc. in the time amount which passes through the exposure field of the shape of a slit by the projection optical system PL is irradiated to the point.

[0042] Here, it is the reference value of the output per unit time amount of the ArF excimer laser 1 (namely, oscillation frequency  $\times$  pulse energy)  $E_0$ . It is referred to as  $[W]$ . Furthermore, below, let the output be the value which multiplied by the rate of dimming in the adjustable beam attenuator 6. And when scan lay length of  $S$  [cm<sup>2</sup>] and its exposure field is set to  $L$  [mm] and resist sensibility is set [ the initial permeability of a projection optical system PL ] to  $I$  [J/cm<sup>2</sup>] for the area of the exposure field of the shape of TO and a slit, it is the initial value  $V_{w0}$  of the scan speed of the wafer stage 24 at the time of scan exposure. [mm/sec] is as follows.

[0043]

$$V_{w0} = (L \cdot E_0 \text{ and } T_0) / (I \cdot S) \quad (1)$$

A scan is performed immediately after scan exposure initiation, maintaining the relative physical relationship of Reticle R and Wafer W so that the wafer stage 24 may serve as the scan speed. That is, when scan exposure is started, in step 106 of drawing 3, as shown in drawing 1, Reticle R is laid on reticle stage 20A, and the wafer W with which the resist was applied to the wafer holder WH on the wafer stage 24 is loaded. And after incidence gross energy  $e$  is reset by 0 within the exposure control unit 30, the scan of reticle stage 20A and the wafer stage 24 is started, when the synchronization of a scan is taken, pulse luminescence of the ArF excimer laser 1 is started, and the incorporation by the exposure control unit 30 of the detecting signal of the integrator sensor 9 is also started. Then, movable blind 15B opens gradually and the imprint to the shot field concerned on the wafer W of the pattern image of Reticle R is started. The information on the synthetic numerical aperture of fixed blind 15A and movable blind 15B is supplied to the amount integral section 64 of incident light of drawing 2.

[0044] And in step 107, the incidence energy  $E_i$  is measured through the integrator sensor 9 of drawing 2, the peak hold circuit 61, and ADC62 for every pulse luminescence, and this incidence energy  $E_i$  is supplied to the amount integral section 64 of incident light one by one. In step 108 following it, in the amount integral section 64 of incident light, the energy which multiplies the incidence energy  $E_i$  supplied for every pulse luminescence by the numerical aperture at that time, and is obtained is integrated, it asks for the incidence gross energy  $e$  till then, and incidence gross energy  $e$  from this exposure initiation is supplied to the permeability operation part 67. In the following step 109, the incidence gross energy  $e$  is substituted for function  $T(e)$  (namely, permeability data) which expresses with the permeability operation part 67 the permeability read from memory 68, and the permeability  $T$  (now) which computed and computed the

permeability T of the projection optical system PL current with a predetermined time interval (now) is supplied to a control section 69. It is made for the frequency of this count to become sufficiently short to the exposure time of one shot. That is, permeability count of a projection optical system PL is repeated over multiple times in the exposure time of one shot, and it asks for the permeability in this time in real time always mostly.

[0045] A control section 69 controls the output of ultraviolet pulsed light IL by the following step 110 based on the supplied permeability T (now). here -- the scan speed Vw of the wafer stage 24 -- Vw0 of (1) type from -- what is necessary is just to fix the illuminance (per unit time amount, energy per unit area) in the front face (wafer side) of the wafer W of ultraviolet pulsed light IL, in order to make regularity light exposure in each point on Wafer W, if it is not made to change Namely, what is necessary is just to change the output of the ArF excimer laser 1 so that change of the permeability T of a projection optical system PL (now) may be offset (making it in inverse proportion to the permeability T (now)). the value of the permeability T of the projection optical system [ in / a certain event of making it such concretely and asking / t ] PL (now) -- T1 and the initial permeability of a projection optical system PL -- the reference value (initial value) of the output of T0 and the ArF excimer laser 1 -- E0 \*\* -- the target output of the ArF excimer laser 1 for carrying out and making regularity the illuminance of ultraviolet pulsed light IL in a wafer side -- Et \*\* -- if it carries out -- Et It asks as follows.

[0046]  $E_t = E_0 \times (T_0 / T_1)$  (2)

Then, a control section 69 is the target output Et for which the output of ultraviolet pulsed light IL which passes the adjustable beam attenuator 6 asked from (2) types. The output (an oscillation frequency and pulse energy) of the ArF excimer laser 1 or the rate of dimming in the adjustable beam attenuator 6 is controlled to become. Next, when scan exposure is not completed at step 111, actuation returns to steps 107-110 again, and they are count of the permeability of a projection optical system PL, and the target output Et of ultraviolet pulsed light IL at a predetermined time interval. Count and the output control of the ArF excimer laser 1 are performed. And when scan exposure is completed, after actuation shifts to step 112 from step 111, luminescence of the ArF excimer laser 1 is stopped and exposure for one shot is completed (step 113), the exposure actuation to the next shot field is started (step 114). At the time of exposure initiation of the next shot field, count of permeability is started as what has recovered the permeability of a projection optical system PL mostly to the initial permeability in step 106.

[0047] Thus, according to this example, based on the integral value of the incidence energy to the projection optical system PL measured through the integrator sensor 9, the permeability of a projection optical system PL is mostly measured on real time, and since the output of the ArF excimer laser 1 is controlled so that the illuminance of ultraviolet pulsed light IL in a wafer side becomes fixed based on this measurement result, even when the permeability of a projection optical system PL changes, the whole surface of each shot field on Wafer W can be exposed with proper light exposure.

[0048] In addition, although the output of the ArF excimer laser 1 is controlled by the gestalt of above-mentioned operation according to the permeability of a projection optical system PL, as shown in (1) type, it is the output E0 of the exposure light source. If fixed, it is the permeability T0 of a projection optical system PL. Scan speed Vw0 of the wafer stage 24 It has a proportional relation. So, when the permeability T of a projection optical system PL (now) changes, the output of the exposure light source is fixed and the scan speed of the wafer stage 24 may be controlled in proportion to permeability T (now). However, this control can be performed in the range in which a scan speed does not reach the upper limit which becomes settled by the stage system.

[0049] Next, it explains per gestalt of operation of the 2nd of this invention. Although the projection aligner of drawing 1 is used also by this example, the measurement approaches of change of the permeability of a projection optical system PL differ. Then, with reference to the flow chart of drawing 4, it explains about measurement actuation of change of transmission and scan exposure actuation of the projection optical system PL in this example. In case transmission change of a projection optical system PL is measured, this is made to scan like the time of actual exposure in this example using the reticle R exposed actually. the scan speed of reticle stage 20A (reticle R) of drawing 1 in the case of this measurement -- the output of Vm and the ArF excimer laser 1 -- Em \*\* -- carrying out -- the scan speed at the time of those actual scan exposure -- Ve and an output -- Ee \*\* -- when it carries out, it is made for the following relation to be realized among these

[0050]  $V_m / E_m = V_e / E_e$  (3)

That is, it is made for the total quantity of light which carries out incidence to a projection optical system PL while scanning Reticle R from scan initiation to the location of a certain arbitration to become the same in

the time of measurement and scan exposure. It is  $V_m = V_e$  though natural. Becoming is desirable. In addition, the quantity of light which carries out incidence to the projection optical system PL of drawing 2 actually is the quantity of light which multiplied the pattern transmission (= area of the lighting field on the area / reticle R of the transparency section in a lighting field) of Reticle R by the incidence energy  $E_i$  measured by the integrator sensor 9 in the case of this measurement. In addition, since pattern permeability is also the value which deducted pattern abundance from 1, it may use this pattern abundance. Moreover, the transparency energy  $E_o$  measured through the dose monitor 32 becomes what multiplied the pattern permeability of Reticle R, and the permeability of a projection optical system PL by the quantity of light which carries out incidence. The object which pattern transmission is known as a function of the location X of Reticle R, and asks for it from the design data of Reticle R here is the transmission of a projection optical system PL. Then, the permeability T of a projection optical system PL can be found [ permeability / of Reticle R / pattern ] from T, then the following formulas using the transparency energy  $E_o$  measured through the incidence energy  $E_i$  measured through the integrator sensor 9, and the dose monitor 32 in the function TR of a location X (X), and the permeability of a projection optical system PL. The synthetic numerical aperture of fixed blind 15A and movable blind 15B has taken more advantaging of the function TR of the pattern transmission (X) at accuracy.

[0051]

$$T = (1/TR(X)) \times (E_o/E_i) \quad (4)$$

Then, first, as step 121 of drawing 4 is shown in drawing 2, the light-receiving side of the dose monitor 32 is set as the exposure field of a projection optical system PL, Reticle R is laid on reticle stage 20A, and reticle stage 20A moves to a scan starting position. In the following step 122, the design data (reticle data) of Reticle R is called from a non-illustrated host computer, and the pattern permeability TR corresponding to the location X of the scanning direction of Reticle R (X) is computed by the main control system 27 of drawing 1. Then, in step 123, the scan of reticle stage 20A (reticle R) is started by the command of the main control system 27 like the time of actual exposure, and luminescence of the ArF excimer laser 1 is also started. Reticle R is scanned to a scan termination location in the direction of +, or the direction of -X.

[0052] And the location X of reticle stage 20A measured through the actuation control unit 22 at step 124 is supplied to the main control system 27, the incidence energy  $E_i$  measured through the integrator sensor 9 for every pulse luminescence is supplied to the direct permeability count section 63 and the amount integral section 64 of incident light, and the transparency energy  $E_o$  measured through the dose monitor 32 is supplied to the direct permeability count section 63. In the following step 125, from the location X of reticle stage 20A, the main control system 27 computes the pattern permeability TR current with a period shorter than the period of pulse luminescence (X), and supplies a calculation result to the direct permeability count section 63 and the amount integral section 64 of incident light. Incidence gross energy  $e$  is computed by integrating the amount integral section 64 of incident light with the value which multiplied the incidence energy  $E_i$  by the pattern permeability TR (X) for every pulse luminescence (addition), the permeability operation part 67 is supplied, in the direct permeability count section 63, the permeability T of a projection optical system PL is calculated by substituting the incidence energy  $E_i$  and the transparency energy  $E_o$  for (4) types, and a count result is supplied to the permeability operation part 67. Actuation of step 125 is repeated with a predetermined time interval, when measurement is completed, it shifts to step 127, and in the permeability operation part 67, it asks for the permeability T of a projection optical system PL as function [ of incidence gross energy  $e$  ] T (e), and this function T (e) is stored in memory 68 until it becomes measurement termination at the following step 126 (i.e., until Reticle R moves to a scan termination location).

[0053] Then, when performing scan exposure actually, in step 128, like step 106 of drawing 3, as shown in drawing 1, the scan of Reticle R and Wafer W is started, and luminescence of the ArF excimer laser 1 is started. And in step 129, measurement of the location X of Reticle R is performed by the actuation control unit 22 a predetermined period, and measurement of the incidence energy  $E_i$  by the integrator sensor 9 is performed for every pulse luminescence. And the pattern permeability TR (X) computed from the location X of Reticle R is supplied to the amount integral section 64 of incident light of drawing 2, and the amount integral section 64 of incident light calculates incidence gross energy  $e$  by integrating with the value which multiplied the incidence energy  $E_i$  by the pattern permeability TR (X), and supplies a count result to the permeability operation part 67. In step 130, by the permeability operation part 67, the permeability T of the current projection optical system PL (now) is computed by substituting the incidence gross energy  $e$  for function T (e) memorized by memory 68 at step 127, and a calculation result is supplied to a control section 69. And in step 131, the output of the ArF excimer laser 1 or the rate of dimming of the adjustable beam



attenuator 6 is controlled by the control section 69 so that fluctuation of the permeability of a projection optical system PL is offset like step 110 and the illuminance of ultraviolet pulsed light IL on Wafer W becomes fixed. Subsequent steps 132-135 are the same as steps 111-114, and the scan exposure to the shot field concerned and the exposure preparations to the next shot field are made.

[0054] According to this example, since the pattern permeability of reticle is also taken into consideration, fluctuation of the permeability of the projection optical system PL at the time of actual scan exposure is more detectable to high degree of accuracy. Therefore, the control precision of light exposure is also improving. In addition, although Reticle R shall be scanned in the direction of arbitration in the above-mentioned example at the time of transmission measurement, a possibility of changing delicately also has the form of function T (e) which expresses the transmission of a projection optical system PL by the scanning direction. Then, the function T1 (e) and T2 (e) are calculated for every scanning direction, and you may make it use the function T1 (e) and T2 (e) properly according to a scanning direction at the time of scan exposure. When the pattern transmission of reticle is not symmetrical, or when the transmission of the substrate of reticle itself is not symmetrical, light exposure control is carried out to high degree of accuracy by this.

[0055] Next, it explains per gestalt of operation of the 3rd of this invention. The projection aligner of drawing 1 is used by this example, and fluctuation of the permeability of the projection optical system PL after an exposure halt of ultraviolet pulsed light IL is also measured in this example. That is, in the gestalt of the above-mentioned 1st and the 2nd operation, it was the premise that the permeability of a projection optical system PL returned to an early condition promptly after an exposure halt of ultraviolet pulsed light IL, and only the exposure for every one scan exposure was simply taken into consideration, and it was asking for change of the permeability of a projection optical system PL. However, depending on the recovery rate after an exposure halt of ultraviolet pulsed light IL, permeability may not be enough recovered to an initial state by exposure initiation of the following shot after exposure termination of a certain shot. Since light exposure big when the low sensibility resist is used especially is needed, change of permeability becomes large, and since there is a possibility that it may become inadequate recovering the permeability between shots also when shortening the stage stepping time between shots etc., in order to be hard coming to recover permeability between shots to an initial state and to aim at improvement in the throughput of a projection aligner, it is necessary to take into consideration the permeability fluctuation after an exposure halt of ultraviolet pulsed light IL.

[0056] Then, with reference to the flow chart of drawing 5, it explains about measurement actuation of change of transmission and scan exposure actuation of the projection optical system PL in this example. First, in steps 141-145 of drawing 5, like steps 101-105 of the gestalt of the 1st operation (the gestalt of 2nd operation may be the same as that of steps 121-127), change of the permeability of the projection optical system PL under exposure of ultraviolet pulsed light IL is measured, and it memorizes in memory 68 in quest of permeability T (e) in this example as a function of incidence gross energy e. Next, in steps 147-150, change of the permeability of the projection optical system PL when not irradiating is measured, and it expresses with the function of elapsed time.

[0057] Where the light exposure which added the predetermined margin to the maximum light exposure assumed by the projection optical system PL at step 146, for example concretely is irradiated, luminescence of the ArF excimer laser 1 is stopped. Then, the elapsed time t from a luminescence halt is measured at step 147, in the direct permeability count section 63, the permeability T of a projection optical system PL (=  $E_o/E_i$ ) is computed from the transparency energy  $E_o$  and the incidence energy  $E_i$  at a predetermined time interval by making the minimum pulse number emit light momentarily to the ArF excimer laser 1 of drawing 2 in step 148, and this permeability T is supplied to the permeability operation part 67. When the count repeat of predetermined and measurement end measurement of this permeability, actuation shifts to step 150 from step 149, in the permeability operation part 67, approximates the permeability T of a projection optical system PL as function [ of the elapsed time t from a luminescence halt of ultraviolet pulsed light IL ] T (t), and memorizes this function T (t) in memory 68. As function T (t), the secondary more than function of the elapsed time t which made the multiplier undecided beforehand, or an exponential function can be used.

[0058] Curvilinear 70C of drawing 6 shows an example of change of the permeability T of the projection optical system PL after an exposure halt of ultraviolet pulsed light IL (=  $E_o/E_i$ ), the axis of abscissa of this drawing 6 is the elapsed time t from an exposure halt (hour), and an axis of ordinate is permeability T (relative value). Moreover, curvilinear 70A shows the incidence energy  $E_i$  (relative value) momentarily supplied to permeability measurement, and curvilinear 70B shows the transparency energy  $E_o$  (relative



value) measured corresponding to the incidence energy  $E_i$ . Once recovering greatly, after an exposure halt of ultraviolet pulsed light IL, the permeability  $T$  of a projection optical system PL is falling gradually, so that the curvilinear 70C may show. Function [ of the elapsed time  $t$  which approximated the curvilinear 70C to memory 68 ]  $T(t)$  is memorized.

[0059] the time of subsequent scan exposure -- the permeability operation part 67 of the main control system 27 of drawing 1 to drawing 2 -- receiving -- under the exposure of ultraviolet pulsed light IL -- or -- for example, the information which shows whether the exposure of ultraviolet pulsed light IL is interrupted in stepping between shots is supplied. Or in the permeability operation part 67, you may judge whether it is under [ exposure ] \*\*\*\*\* by the existence of the incidence energy  $E_i$  from ADC62. In step 151 of drawing 5 thus, in the permeability operation part 67 While ultraviolet pulsed light IL judges whether it is under [ exposure ] \*\*\*\*\* and is irradiating In step 152, incorporate incidence gross energy  $e$  from the amount integral section 64 of incident light with a predetermined time interval, and it sets to step 153. It asks for the current permeability  $T$  of a projection optical system PL (now) from this incidence gross energy  $e$  and function  $T(e)$  memorized by memory 68 at step 144. And actuation of steps 152-154 is repeated until it controls the output of ultraviolet pulsed light IL to offset change of the permeability  $T$  (now) like step 110 of drawing 3 at the following step 154 and scan exposure is completed at step 155 below.

[0060] Then, after scan exposure is completed at step 155 and the exposure to one shot field is completed at step 159, when it is judged whether the exposure to all shot fields was completed at step 160 and exposure is not completed, it returns to step 151. In this case, since it is among stepping in order that the wafer stage 24 may move the next shot field to a scan starting position, and the exposure of ultraviolet pulsed light IL is interrupted, Actuation shifts to step 156 from step 151, and the permeability operation part 67 calculates the permeability  $T_A$  of the current projection optical system PL from incidence gross energy  $e$  currently first supplied from the amount integral section 64 of incident light at the event, and function  $T(e)$  memorized at step 145. And just before the scan exposure to the next shot field starts, in step 157, the permeability operation part 67 computes the permeability  $T_B$  of the current projection optical system PL from function  $T(t)$  memorized at old elapsed time  $t$  and old step 150 from exposure interruption of ultraviolet pulsed light IL. In this case, if elapsed time  $t$  sets the value of permeability [ of 0 ]  $T(0)$  to  $T_C$ , it will set to step 158 and the permeability  $T$  with the current projection optical system PL more nearly actual than a degree type as an example (now) will be computed in the permeability operation part 67.

[0061]

$T(\text{now}) = T_A - T_B / T_C \quad (5)$

And when the scan exposure to the next shot field is started and actuation shifts to step 152 from step 151, light exposure control is performed as a value which becomes settled by (5) formulas about the initial value of the permeability of a projection optical system PL. Thus, when the exposure to all shot fields is completed at a line crack and step 160 by the scan exposure to each shot field, exposure actuation is completed at step 161.

[0062] Thus, since fluctuation of the permeability of the projection optical system PL at the time of the exposure of ultraviolet pulsed light IL being interrupted between shots is also taken into consideration according to this example, the light exposure to each shot field on Wafer W is controlled more by high degree of accuracy. Next, scan exposure of drawing 5 is explained with reference to the flow chart of drawing 7 about an example of actuation in the case of using at the process which forms a circuit pattern on Wafer W actually. First, in step 171 of drawing 7, Reticle R is loaded on reticle stage 20A of drawing 1. In the following step 172, a metal membrane is vapor-deposited on the wafer for exposure (it considers as Wafer W), and in step 173, after applying a resist on the metal membrane on the wafer W, Wafer W is loaded on the wafer stage 24 of the projection aligner of drawing 1. Next, in step 174, the pattern image of Reticle R is exposed to each shot field on Wafer W by the scan exposure method, controlling the quantity of light of ultraviolet pulsed light IL like actuation to steps 151-161 of drawing 5, to offset change of the permeability of a projection optical system PL, so that the illuminance of ultraviolet pulsed light IL on Wafer W becomes fixed.

[0063] Then, in step 175, after developing the resist on Wafer W and etching the metal membrane on Wafer W by using the resist pattern as a mask at step 176, a desired circuit pattern is formed in each shot field on Wafer W by removing a resist pattern. Then, Wafer W shifts to the formation process of the circuit pattern of the following layer. In this case, by this example, since the optimal light exposure is obtained in each shot field on Wafer W, a desired circuit pattern is formed in each shot field on Wafer W with high imprint fidelity.

[0064] In addition, although the gestalt of the above-mentioned operation applies this invention to the

projection aligner of step - and - scanning method, this invention can be applied also when exposing with the projection aligner (stepper) of a step-and-repeat method. In the case of a stepper, the exposure time is controlled by the process corresponding to steps 110 and 111 of drawing 3 so that the addition light exposure to the shot field concerned on a wafer becomes a predetermined value.

[0065] In addition, of course, configurations various in the range which this invention is not limited to the gestalt of above-mentioned operation, and does not deviate from the summary of this invention can be taken.

[0066]

[Effect of the Invention] according to the projection aligner of this invention, this permeability change is beforehand measured and memorized using permeability change of the projection optical system from exposure initiation of an exposure energy beam showing the variation of about 1 law according to a dose. And since change of the permeability of a projection optical system is presumed from the amount of exposure energy beams which carries out incidence to a projection optical system at the time of actual exposure and light exposure is controlled according to change of this permeability, there is an advantage which can prevent degradation of the control precision of the light exposure resulting from the illuminance fluctuation (or pulse energy fluctuation) on the substrate generated by permeability fluctuation of a projection optical system.

[0067] Moreover, it is not necessary to add a new sensor which measures the light exposure on the substrate side under exposure, and constraint of the tooth space near the stage by the side of a substrate is not received. The permeability property storage section in this case, besides the rate of change over the total amount of incidence energy of the permeability of a projection optical system The rate of change of the permeability of the projection optical system over the elapsed time after interrupting the exposure of an exposure energy beam is memorized. An operation system The output of two kinds of rate of change of the permeability memorized by the permeability property storage section, and the amount addition system of incidence energy, And even when computing the transmission of a projection optical system serially based on the elapsed time after interrupting the exposure of an exposure energy beam and the transmission of a projection optical system is not fully recovered after interruption of the exposure of an exposure energy beam, change of the transmission of the projection optical system can be presumed to accuracy.

[0068] Moreover, when this invention is applied to the projection aligner of a scan exposure method like step - and - scanning method, good light exposure control precision is acquired by controlling light exposure by the scan exposure method so that a fixed illuminance is obtained in respect of a substrate, corresponding to permeability fluctuation of a projection optical system. Next, according to the exposure approach of this invention, by measuring the permeability in the condition of having used the mask actually at the time of measurement of change of the permeability of a projection optical system, using the projection aligner of a scan exposure method, incorrect-measuring permeability change of a projection optical system is prevented, and it can raise light exposure control precision by fluctuation of the amount of incidence energy by the difference in the pattern consistency of a mask.

[0069] Moreover, according to the manufacture approach of the circuit device of this invention, a circuit pattern can be formed on a substrate with high imprint fidelity using the projection aligner of this invention.

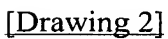
---

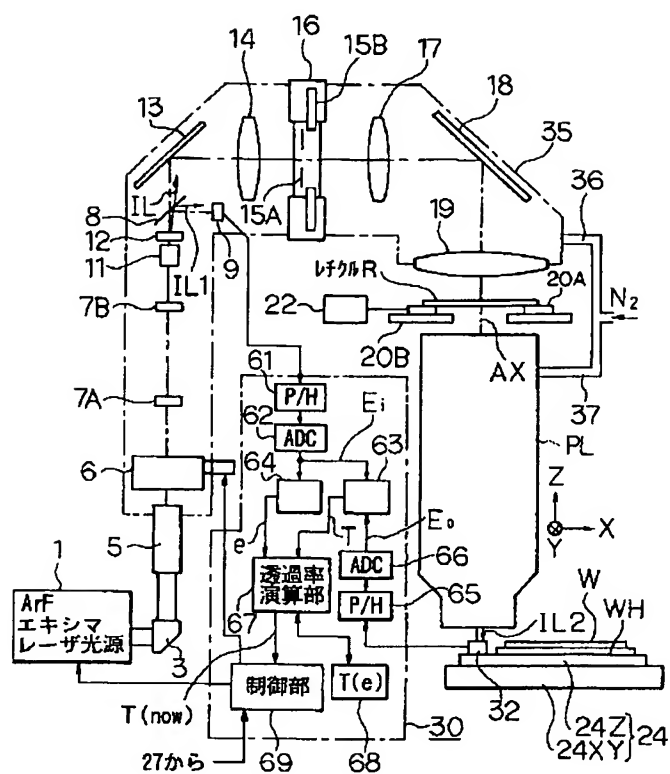
[Translation done.]

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

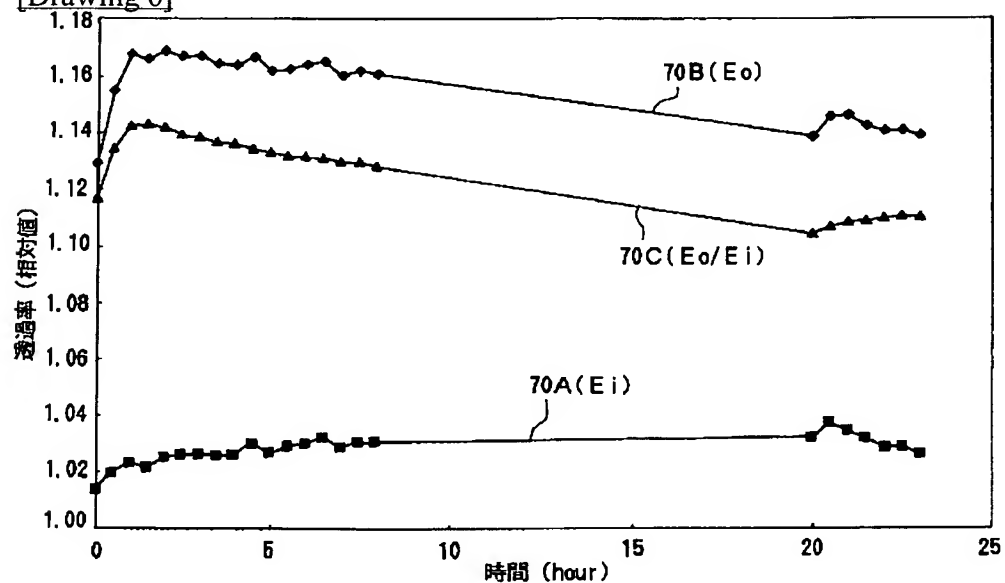
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

[Drawing 1]

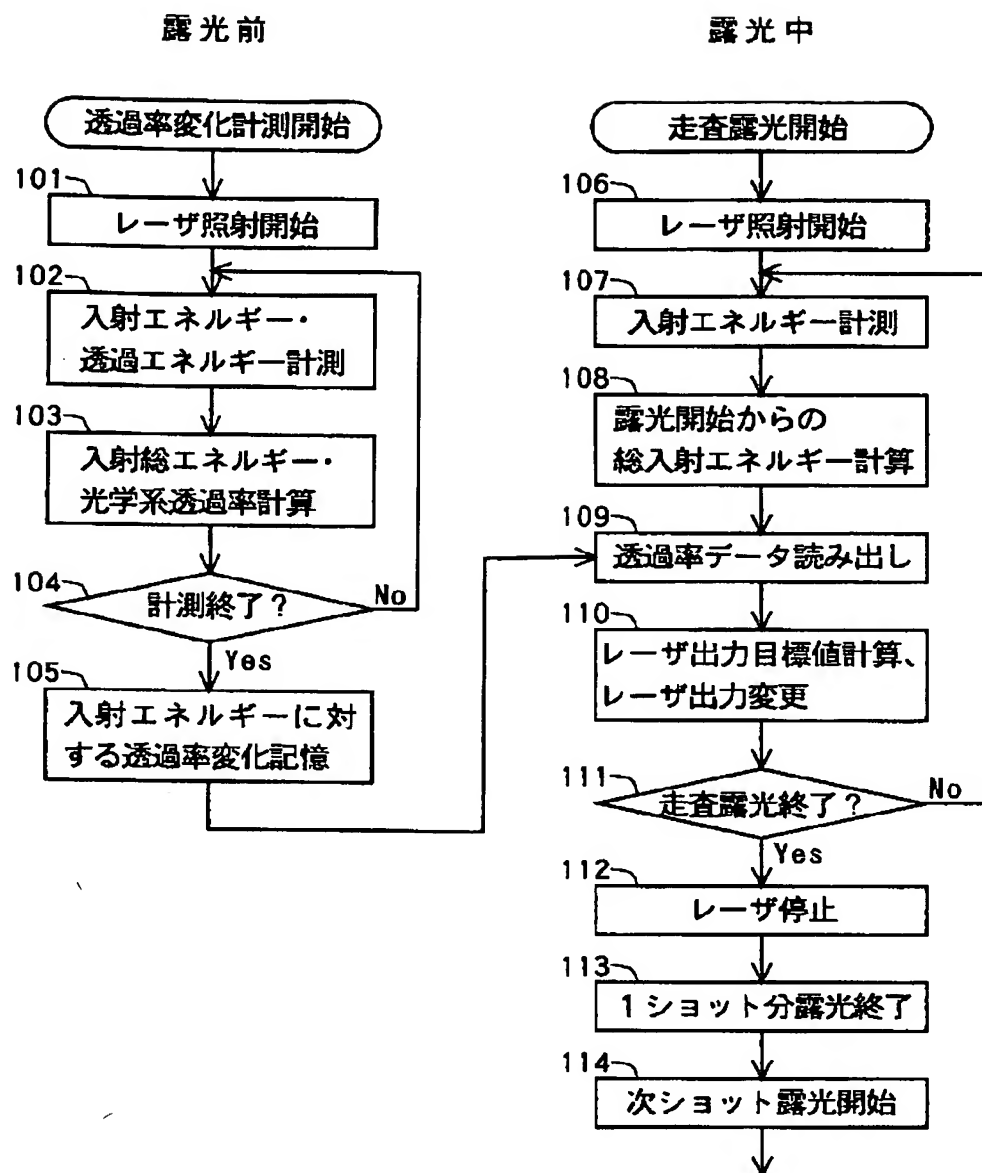




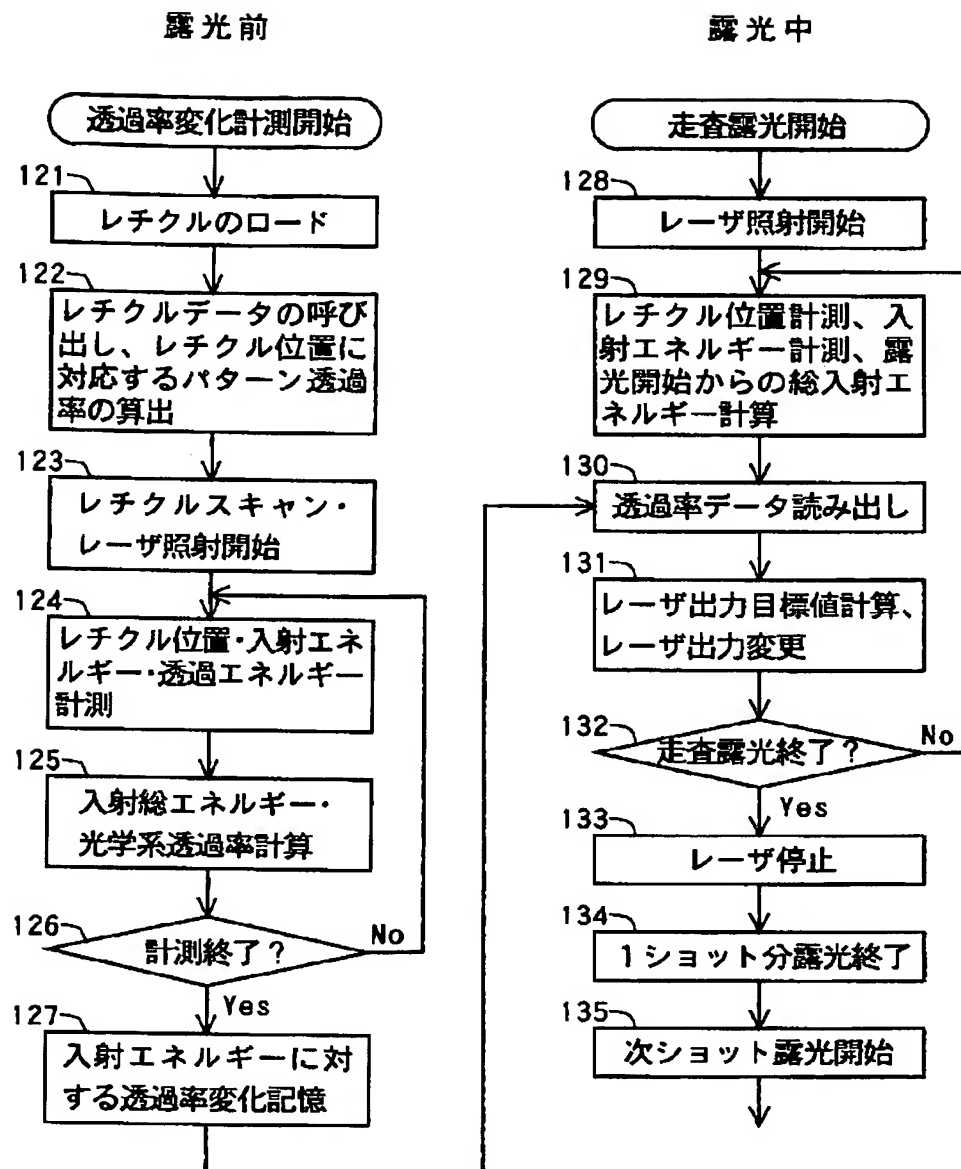
[Drawing 6]



[Drawing 3]

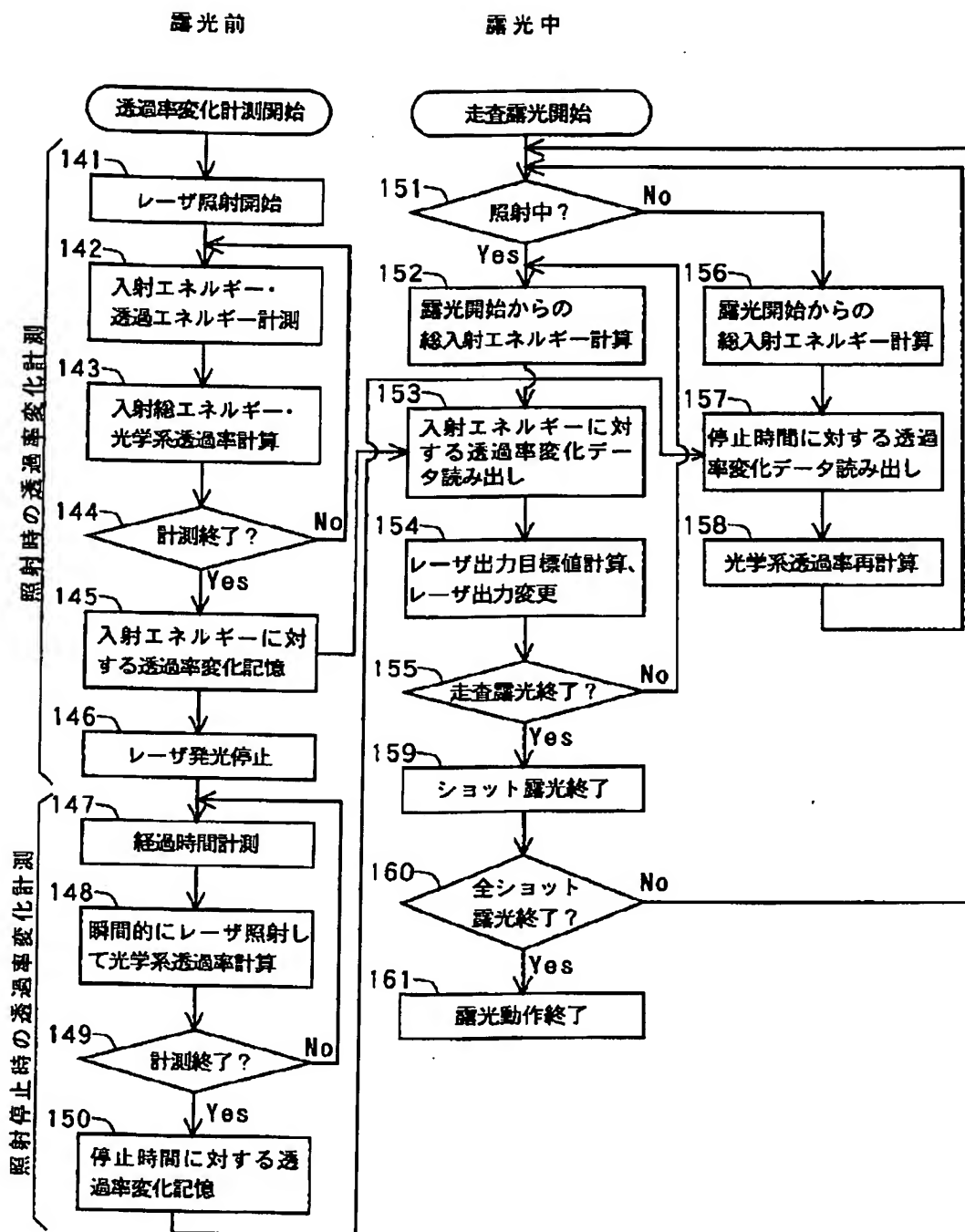


[Drawing 4]

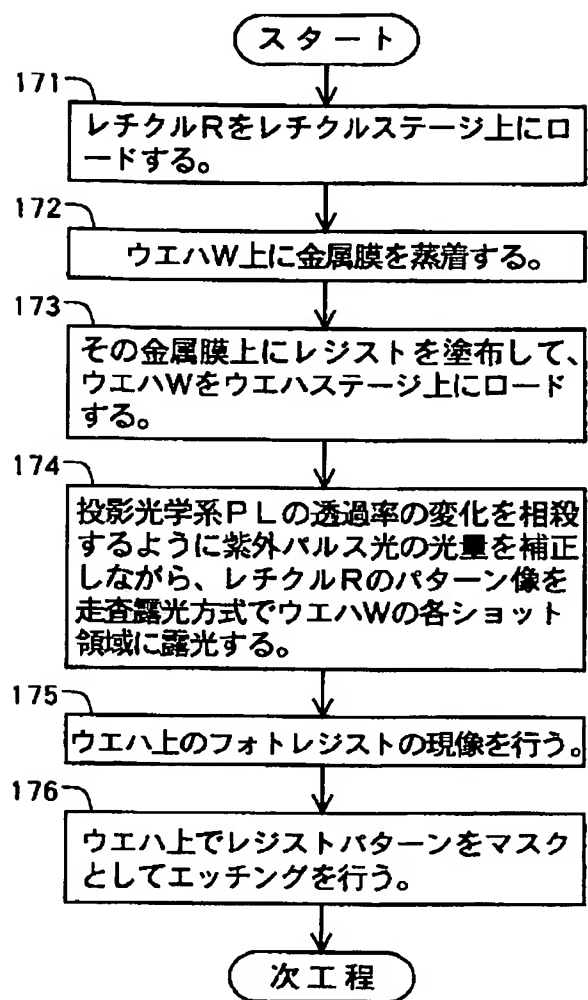


[Drawing 5]





[Drawing 7]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-16816

(43)公開日 平成11年(1999) 1月22日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 6 D

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 0 2 G

5 1 6 C

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 17 頁)

(21)出願番号

特願平9-168406

(22)出願日

平成9年(1997) 6月25日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 田中 康明

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

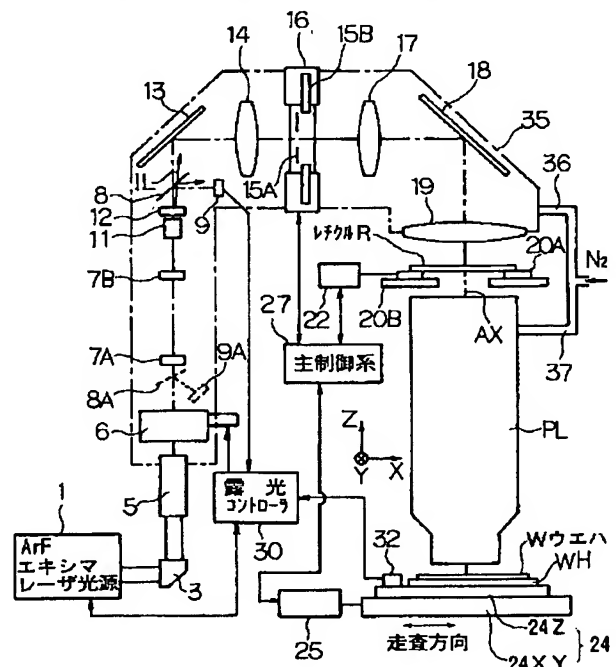
(74)代理人 弁理士 大森 聡

(54)【発明の名称】 投影露光装置、該装置を用いた露光方法、及び該装置を用いた回路デバイスの製造方法

(57)【要約】

【課題】 投影光学系の透過率変動によって発生する基板上での照度変動（又はパルスエネルギー変動）に起因した露光量の制御精度の劣化を防止した投影露光装置を提供する。

【解決手段】 投影光学系 P L に入射する紫外パルス光 I L の光量をインテグレータセンサ 9 を介して計測し、投影光学系 P L を透過した紫外パルス光 I L の光量を照射量モニタ 3 2 を介して計測し、透過光量を入射光量で除算することによって投影光学系 P L の透過率を算出する。この透過率を入射光量の積分値の関数として求めておき、露光時にはその関数にインテグレータセンサ 9 を介して計測される入射光量の積分値を代入して投影光学系 P L の透過率を推定し、この透過率に応じて例えばエキシマレーザ光源 1 の出力を制御することで露光量を制御する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 マスクに形成されたパターンを紫外域の所定の露光エネルギービームで照射する照射系と、前記マスクのパターンの像を基板上に投影する投影光学系と、を備えた投影露光装置において、前記投影光学系に対する入射エネルギー量を計測する入射エネルギー量計測系と、該入射エネルギー量計測系の計測値を積算して前記投影光学系に対する総入射エネルギー量を求める入射エネルギー量積算系と、前記投影光学系からの射出エネルギー量を計測する射出エネルギー量計測系と、前記入射エネルギー量計測系、前記入射エネルギー量積算系、及び前記射出エネルギー量計測系の計測結果に基づいて算出される前記投影光学系の透過率の前記総入射エネルギー量に対する変化率を記憶する透過率特性記憶部と、該透過率特性記憶部に記憶されている透過率の変化率、及び前記入射エネルギー量積算系の出力に基づいて逐次前記投影光学系の透過率を算出する演算系と、該演算系によって算出される透過率に応じて前記照射系から前記投影光学系を介して前記基板上に照射される前記露光エネルギービームの露光量を制御する露光量制御系と、を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の投影露光装置であって、前記透過率特性記憶部は、前記投影光学系の透過率の前記総入射エネルギー量に対する変化率の他に、前記露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に対する前記投影光学系の透過率の変化率を記憶し、前記演算系は、前記透過率特性記憶部に記憶されている透過率の 2 種類の変化率、前記入射エネルギー量積算系の出力、及び前記露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に基づいて逐次前記投影光学系の透過率を算出することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 3】 請求項 1、又は 2 記載の投影露光装置であって、前記マスク及び前記基板をそれぞれ移動するステージ系を備え、露光時に前記ステージ系を介して前記マスク及び前記基板を前記投影光学系に対して相対的に同期走査することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 4】 請求項 3 記載の投影露光装置を用いた露光方法であって、前記投影光学系の透過率を計測する際に、前記ステージ系を介して実際の露光時と同様に前記マスクを前記投影光学系に対して走査しながら、前記入射エネルギー量計測系、及び前記射出エネルギー量計測系による計測値を取り込み、該取り込まれた計測値を前記マスクのパターン存在率で補正することによって前記投影光学系の透過率を算出し、前記基板に対する露光時に、前記マスクのパターン存在

率で補正して得られる透過率に基づいて前記基板に対する前記露光エネルギービームの露光量を制御することを特徴とする露光方法。

【請求項 5】 請求項 1、2、又は 3 記載の投影露光装置を用いて所定の回路デバイスを製造するための回路デバイスの製造方法であって、前記基板上に感光材料を塗布する第 1 工程と、前記透過率特性記憶部に記憶されている透過率の変化率、及び前記入射エネルギー量積算系の出力に基づいて前記演算系を介して逐次前記投影光学系の透過率を算出し、該算出される透過率に応じて前記露光量制御系によって前記照射系から前記投影光学系を介して前記基板上に照射される前記露光エネルギービームの露光量を制御しながら、前記マスクのパターン像を前記基板上の各ショット領域に露光する第 2 工程と、前記基板の現像を行う第 3 工程と、該現像後の前記基板上の各ショット領域にそれぞれ回路パターンを形成する第 4 工程と、を有することを特徴とする回路デバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのリソグラフィ工程でマスクパターンを投影光学系を介して基板上に転写するために使用される投影露光装置、この投影露光装置を用いた露光方法、及びこの投影露光装置を用いた回路デバイスの製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体デバイスの集積度及び微細度の向上に対応するため、半導体デバイスを製造するためのリソグラフィ工程（代表的にはレジスト塗布工程、露光工程、及びレジスト現像工程からなる）を担う露光装置においては、解像力、及び転写忠実度をより高めることが要求されている。このように解像力、及び転写忠実度を高めるためには、先ず基板としてのウエハ上に塗布されたレジストを適正露光量で露光するための露光量制御を高精度に行う必要がある。

【0003】現在、半導体デバイスの製造現場では、主に水銀放電灯の輝線のうち波長 365nm の i 線を露光用の照明光として、レチクルからウエハへの投影倍率が 1/5 倍の縮小投影光学系を用いたステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（ステッパー）が多用されている。また、ここ数年の動向として、ウエハ上に形成される回路デバイスのサイズ（チップサイズ）の大型化に伴って縮小投影光学系の投影視野が極端に大きくなるのを避けるために、その投影光学系の物体面側の視野内でレチクルを所定方向に等速走査しつつ、その投影光学系の像面側の視野内でウエハを対応する方向に縮小倍率と同じ速度比で等速走査することで、レチクルの回路パターンの全体像をウエハ上の各領域に走査露光する

ステップ・アンド・スキャン方式の縮小投影露光装置も注目されている。

【0004】従来の露光量制御では、投影光学系の露光用の照明光に対する透過率は短時間には変動しないものとして、例えば露光直前の或る時点で計測した投影光学系の透過率を用いて、照明光学系内で分岐された照明光の光量とその透過率とからウエハの表面での露光量を計算していた。そして、ステッパーであれば、その計算される露光量の積算値が所定値となるように露光時間を制御し、ステップ・アンド・スキャン方式であれば、その計算される露光量が一定の値になるように光源の出力、又は走査速度を制御していた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】最近では、露光波長を短波長化して解像力をより高めるために、露光用の照明光としてエキシマレーザ光源からの波長250nm程度以下の紫外パルス光を用いたステップ・アンド・リピート方式、及びステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置が開発され、波長248nmのKrFエキシマレーザ光源を使用した投影露光装置は製造ラインに本格的に投入され始めている。更に、より短波長の波長193nmの紫外パルス光を出力するArFエキシマレーザ光源も開発されており、これは今後の露光用光源として有望視されている。

【0006】このArFエキシマレーザ光源を露光光源として用いる場合、その紫外パルス光の自然発振状態での波長帯域内には酸素の吸収帯が幾つか存在するため、パルス光の波長特性をそれらの吸収帯を避けた波長に狭帯化することが必要となる。更に、露光光源からレチクルまでの照明光路内やレチクルからウエハまでの投影光路内に極力酸素が含まれないような環境にすること、即ちそれらの照明光路や投影光路の大部分を不活性ガス（窒素ガスやヘリウムガス等）で置換することも必要となる。そのようなArFエキシマレーザ光源を用いた投影露光装置の一例は、例えば特開平6-260385号公報、特開平6-260386号公報に開示されている。

【0007】以上のようなエキシマレーザ光源からの紫外パルス光（波長250nm程度以下）に対して所望の透過率を有する実用的な光学硝材としては、現在の所、石英(SiO<sub>2</sub>)とホタル石(蛍石:CaF<sub>2</sub>)との2つが知られているだけである。もちろん、その他にフッ化マグネシウムやフッ化リチウム等も知られているが、投影露光装置用の光学硝材とするためには、加工性の問題、耐久性の問題等を解決しておく必要がある。

【0008】これに関して、投影露光装置に搭載される投影光学系としては、ジオプトリック系（屈折系）の他に、屈折光学素子（レンズ素子）と反射光学素子（特に凹面鏡）との組み合わせで構成したカタジオプトリック系（反射屈折系）も使用されている。何れのタイプの投

影光学系を採用するにしても、屈折光学素子（透過性光学素子）を使うことには変わりなく、現時点では屈折光学素子として石英とホタル石との2種類の硝材を使わざるを得ない。更に屈折光学素子にしる反射光学素子にしる、その表面には反射防止膜や保護層等の多層膜が蒸着され、光学素子単体としての性能が所定の状態になるように製造されている。ここで特に注目すべき性能は、レンズ素子単体の透過率の絶対値、あるいは反射光学素子単体の反射率の絶対値がどの程度大きく取れるかである。

【0009】例えばレンズ素子単体の場合、一般に光の入射面と射出面との2面の両方に反射防止膜等をコートし、極力透過率を高めるように工夫されている。投影光学系のように精密な結像光学系においては、各種の収差特性を良好に補正するために使用するレンズ素子が20~30枚と多く、各レンズ素子の透過率が100%より僅かに低だけで投影光学系全体の透過率はかなり小さくなる。また、幾つかの反射光学素子を含む投影光学系でも、各反射光学素子の反射率が低いときには投影光学系全体の透過率も低くなる。

【0010】例えば、投影光学系の結像光路を構成するレンズ素子が25枚の場合、それらレンズ素子の個々の透過率を96%とすると、投影光学系全体としての透過率 $\epsilon$ は約36% ( $\epsilon = 0.96^{25} \times 100$ ) とかなり小さくなる。投影光学系の透過率が低い場合に、レチクルの回路パターン像をウエハ上に露光するための照明光の強度（エネルギー）の増大を図るか、又はより感度の高い紫外線用レジストを使用するかの方策を取らないと、露光時間の増大によってスループットが低下する。そこで、投影露光装置側で実現可能な対策として、より高出力なエキシマレーザ光源を用意することが考えられる。

【0011】ところが、エキシマレーザ光源を用いた比較的フィールドサイズの大きい投影露光装置によって各種の露光実験をしたところ、紫外波長域の照明光（KrFエキシマレーザ光、又はArFエキシマレーザ光等）の照射によって、短時間の間に投影光学系内の光学素子、あるいは光学素子のコート材（例えば反射防止膜等の薄膜）の透過率がダイナミックに変動するといった新たな現象が発見された。この現象は、投影光学系内の光学素子のみならず、レチクルを照明する照明光学系の内の光学素子や、レチクル（石英板）自体についても全く同様に発生し得ることが分かってきた。

【0012】そのような現象は、投影光路内や照明光路内の空間に存在する気体（空気、窒素ガス等）中に含まれる不純物、光学素子を鏡筒に固定するための接着剤等から発生する有機物質の分子、或いはその鏡筒の内壁（反射防止用の塗装面等）から発生する不純物（例えば水分子、炭化水素の分子、又はこれら以外の照明光を拡散する物質）が光学素子の表面に付着したり照明光路内に進入（浮遊）することで起こるものと考えられてい

る。その結果、投影光学系の透過率や照明光学系の透過率が比較的大きく変動するといった不都合が生じる。

【0013】例えば上記のレンズ素子が25枚で透過率 $\varepsilon$ が約36%の投影光学系で、レンズ素子単体の透過率が仮に一律に1%だけ低下したとすると、投影光学系全体の透過率 $\varepsilon$ は約27.7% ( $\approx 0.95^{25} \times 100$ ) に低下してしまう。このような透過率の変動は、ウエハ上に与えるべき露光量を適正值から異ならせ、ウエハ上に転写される設計線幅0.25~0.18 $\mu\text{m}$ 程度の微細パターンの転写忠実度を劣化させる恐れがある。従来の投影露光装置では、例えば特開平2-135723号公報に開示されているように、照明光学系の光路内の所定の位置で照明光の光強度を検出し、その光強度に基づいて適正露光量が得られるようにエキシマレーザ光源からのパルス光の強度(1パルス当たりのエネルギー)を調整している。このため従来の投影露光装置では、露光量制御のために照明光の強度を検出している照明光路内の部分以降の照明光学系や投影光学系の透過率変動が全く加味されず、正確な露光量制御ができなくなる恐れがあった。

【0014】また、投影光学系に対する紫外パルス光の照射を停止した場合には、次第にその投影光学系の透過率が回復(変動)するという現象も見いだされている。このような場合に、再び紫外パルス光の照射を開始して露光を再開すると、投影光学系の透過率が変動しているため、正確な露光量制御が困難になる恐れがある。本発明は斯かる点に鑑み、投影光学系の透過率変動によって発生する基板上での照度変動(又はパルスエネルギー変動)に起因した露光量の制御精度の劣化を防止した投影露光装置を提供することを第1の目的とする。

【0015】更に本発明は、そのような投影露光装置を用いて良好な露光量制御精度が得られる露光方法を提供することを第2の目的とする。更に本発明は、そのような投影露光装置を用いて高い転写忠実度で回路パターンを基板上に形成できる回路デバイスの製造方法を提供することを第3の目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明による投影露光装置は、マスク(R)に形成されたパターンを紫外域の所定の露光エネルギービームで照射する照射系(1~19)と、そのマスクのパターンの像を基板(W)上に投影する投影光学系(PL)と、を備えた投影露光装置において、投影光学系(PL)に対する入射エネルギー量を計測する入射エネルギー量計測系(9)と、この入射エネルギー量計測系の計測値を積算してその投影光学系に対する総入射エネルギー量を求める入射エネルギー量積算系(64)と、その投影光学系からの射出エネルギー量を計測する射出エネルギー量計測系(32)と、入射エネルギー量計測系(9)、入射エネルギー量積算系(64)、及び射出エネルギー量計測系(32)の計測

結果に基づいて算出されるその投影光学系の透過率のその総入射エネルギー量に対する変化率を記憶する透過率特性記憶部(68)と、この透過率特性記憶部に記憶されている透過率の変化率、及び入射エネルギー量積算系(64)の出力に基づいて逐次その投影光学系の透過率を算出する演算系(67)と、この演算系によって算出される透過率に応じてその照射系からその投影光学系を介してその基板上に照射されるその露光エネルギービームの露光量を制御する露光量制御系(1, 69; 22, 25, 27)と、を設けたものである。

【0017】斯かる本発明によれば、予め露光エネルギービームの総入射エネルギーに対して投影光学系の透過率変化を計測して記憶しておき、実際の露光時には露光開始、即ち露光エネルギービームの照射開始時から投影光学系に入射するエネルギーを計測しつつ、先に記憶しておいた透過率変化に当てはめることによって、ほぼリアルタイムで高精度に投影光学系の透過率が推定できる。その透過率の変化を相殺するように露光量を制御することによって、投影光学系の透過率変動によって発生する基板上での照度変動(又はパルスエネルギー変動)に起因した露光量の制御精度の劣化が防止できる。

【0018】この場合、透過率特性記憶部(68)は、その投影光学系の透過率のその総入射エネルギー量に対する変化率の他に、その露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に対するその投影光学系の透過率の変化率を記憶し、演算系(67)は、透過率特性記憶部(68)に記憶されている透過率の2種類の変化率、入射エネルギー量積算系(9)の出力、及びその露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に基づいて逐次その投影光学系の透過率を算出することが望ましい。これによって、露光エネルギービームの照射の中断後に投影光学系の透過率がすぐに十分回復しない場合でも、高精度に投影光学系の透過率の変化を推定できる。

【0019】また、マスク及び基板をそれぞれ移動するステージ系(20A, 20B, 24)を備え、露光時にそのステージ系を介してそのマスク及びその基板をその投影光学系に対して相対的に同期走査してもよい。これは本発明を走査露光方式の投影露光装置に適用したことを意味する。この場合、露光量を制御するためには、露光光源の出力を制御する他に、走査速度を制御してもよい。

【0020】また、本発明の露光方法は、その投影露光装置を用いた露光方法であって、その投影光学系の透過率を計測する際に、そのステージ系を介して実際の露光時と同様にそのマスクをその投影光学系に対して走査しながら、入射エネルギー量計測系(9)、及び射出エネルギー量計測系(32)による計測値を取り込み、このように取り込まれた計測値をそのマスクのパターン存在率(又はパターン透過率)で補正することによってその投影光学系の透過率を算出し、その基板に対する露光時



に、そのマスクのパターン存在率で補正して得られる透過率に基づいてその基板に対するその露光エネルギービームの露光量を制御することが望ましい。これによって、マスクのパターン存在率（パターン透過率）の影響で投影光学系の透過率が誤計測されることが防止される。

【0021】また、本発明の回路デバイスの製造方法は、本発明の投影露光装置を用いて所定の回路デバイスを製造するための回路デバイスの製造方法であって、その基板上に感光材料を塗布する第1工程（ステップ173）と、透過率特性記憶部（68）に記憶されている透過率の変化率、及び入射エネルギー量積算系（9）の出力に基づいて演算系（68）を介して逐次その投影光学系の透過率を算出し、このように算出される透過率に応じてその露光量制御系によってその照射系からその投影光学系を介してその基板上に照射されるその露光エネルギービームの露光量を制御しながら、そのマスクのパターン像をその基板上の各ショット領域に露光する第2工程（ステップ174）と、その基板の現像を行う第3工程（ステップ175）と、この現像後のその基板上の各ショット領域にそれぞれ回路パターンを形成する第4工程（ステップ176）と、を有するものである。この場合、露光工程で適正な露光量が得られるため、回路パターンの転写忠実度が向上する。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の第1の実施の形態につき図面を参照して説明する。本例は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置で露光を行う場合に本発明を適用したものである。図1は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図1において、ArFエキシマレーザ光源1からの波長193nmで狭帯化された露光光としての紫外パルス光ILは、露光装置本体との間で光路を位置的にマッチングさせるための可動ミラー等を含むビームマッチングユニット（BMU）3を通り、遮光性のパイプ5を介して光アッテネータとしての可変減光器6に入射する。ウェハ上のレジストに対する露光量を制御するための露光制御ユニット30が、ArFエキシマレーザ光源1の発光の開始及び停止、並びに発振周波数、及びパルスエネルギーで定まる出力を制御すると共に、可変減光器6における紫外パルス光に対する減光率を段階的、又は連続的に調整する。なお、露光光としては、波長248nmのKrFエキシマレーザ光、又はその他の波長250nm程度以下のレーザ光等を使用する場合にも本発明が適用される。

【0023】可変減光器6を通った紫外パルス光ILは、所定の光軸に沿って配置されるレンズ系7A、7Bよりなるビーム整形光学系を経てフライアイレンズ11に入射する。このように、本例ではフライアイレンズ11は1段であるが、照度分布均一性を高めるために、例えば特開平1-235289号公報に開示されているよ

うに、フライアイレンズを直列に2段配置するようにしてもよい。フライアイレンズ11の射出面には照明系の開口絞り系12が配置されている。開口絞り系12には、通常照明用の円形の開口絞り、複数の偏心した小開口よりなる変形照明用の開口絞り、輪帯照明用の開口絞り等が切り換え自在に配置されている。フライアイレンズ11から射出されて開口絞り系12中の所定の開口絞りを通過した紫外パルス光ILは、透過率が高く反射率が低いビームスプリッタ8に入射する。ビームスプリッタ8で反射された紫外パルス光は、光電検出器よりなるインテグレートセンサ9に入射し、インテグレートセンサ9の検出信号は露光制御ユニット30に供給されている。

【0024】ビームスプリッタ8の透過率、及び反射率は予め高精度に計測されて、露光制御ユニット30内のメモリに記憶されており、露光制御ユニット30は、インテグレートセンサ9の検出信号より間接的に投影光学系PLに対する紫外パルス光ILの入射光量、及びその積分値をモニタできるように構成されている。なお、投影光学系PLに対する入射光量をモニタするためには、図1中に2点鎖線で示すように、例えばレンズ系7Aの前にビームスプリッタ8Aを配置し、このビームスプリッタ8Aからの反射光を光電検出器9Aで受光し、光電検出器9Aの検出信号を露光制御ユニット30に供給するようにしてもよい。

【0025】ビームスプリッタ8を透過した紫外パルス光ILは、コンデンサレンズ系14を経てレチクルブラインド機構16内の固定照明視野絞り（固定ブラインド）15Aに入射する。固定ブラインド15Aは、例えば特開平4-196513号公報に開示されているように、投影光学系PLの円形視野内の中央で走査露光方向と直交した方向に直線スリット状、又は矩形状（以下、まとめて「スリット状」と言う）に伸びるように配置された開口部を有する。更に、レチクルブラインド機構16内には、固定ブラインド15Aとは別に照明視野領域の走査露光方向の幅を可変とするための可動ブラインド15Bが設けられ、この可動ブライント15Bによってレチクルステージの走査移動ストロークの低減、レチクルRの遮光帯の幅の低減を図っている。可動ブラインド15Bの開口率の情報は露光制御ユニット30にも供給され、インテグレートセンサ9の検出信号から求められる入射光量にその開口率を乗じた値が、投影光学系PLに対する実際の入射光量となる。

【0026】レチクルブラインド機構16の固定ブラインド15Aでスリット状に整形された紫外パルス光ILは、結像用レンズ系17、反射ミラー18、及び主コンデンサレンズ系19を介して、レチクルRの回路パターン領域上で固定ブラインド15Aのスリット状の開口部と相似な照明領域を一樣な強度分布で照射する。即ち、固定ブラインド15Aの開口部、又は可動ブラインド1

5 Bの開口部の配置面は、結像用レンズ系 1 7 と主コンデンサレンズ系 1 9 との合成系によってレチクル R のパターン面とほぼ共役となっている。

【0 0 2 7】紫外パルス光 I L のもとで、レチクル R の照明領域内の回路パターンの像が両側テレセントリックな投影光学系 P L を介して所定の投影倍率  $\beta$  ( $\beta$  は例えば  $1/4$ 、 $1/5$  等) で、投影光学系 P L の結像面に配置されたウエハ W 上のレジスト層のスリット状の露光領域に転写される。その露光領域は、ウエハ上の複数のショット領域のうちの 1 つのショット領域上に位置している。本例の投影光学系 P L は、ジオプトリック系 (屈折系) であるが、カタジオプトリック系 (反射屈折系) も使用できることは言うまでもない。以下、投影光学系 P L の光軸 A X に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な平面内で走査方向 (ここでは図 1 の紙面に平行な方向) に X 軸を取り、走査方向に直交する非走査方向 (ここでは図 1 の紙面に垂直な方向) に Y 軸を取って説明する。

【0 0 2 8】このとき、レチクル R は、レチクルステージ 2 0 A 上に吸着保持され、レチクルステージ 2 0 A は、レチクルベース 2 0 B 上に X 方向に等速移動できると共に、X 方向、Y 方向、回転方向に微動できるように載置されている。レチクルステージ 2 0 A (レチクル R) の 2 次元的な位置、及び回転角は駆動制御ユニット 2 2 内のレーザ干渉計によってリアルタイムに計測されている。この計測結果、及び装置全体の動作を統轄制御するコンピュータよりなる主制御系 2 7 からの制御情報に基づいて、駆動制御ユニット 2 2 内の駆動モータ (リニアモータやボイスコイルモータ等) は、レチクルステージ 2 0 A の走査速度、及び位置の制御を行う。

【0 0 2 9】一方、ウエハ W は、ウエハホルダ W H を介して Z チルトステージ 2 4 Z 上に吸着保持され、Z チルトステージ 2 4 Z は、投影光学系 P L の像面と平行な X Y 平面に沿って 2 次元移動する X Y ステージ 2 4 X Y 上に固定され、Z チルトステージ 2 4 Z 及び X Y ステージ 2 4 X Y よりウエハステージ 2 4 が構成されている。Z チルトステージ 2 4 Z は、ウエハ W のフォーカス位置 (Z 方向の位置)、及び傾斜角を制御してウエハ W の表面をオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系 P L の像面に合わせ込み、X Y ステージ 2 4 X Y はウエハ W の X 方向への等速走査、及び X 方向、Y 方向へのステッピングを行う。Z チルトステージ 2 4 Z (ウエハ W) の 2 次元的な位置、及び回転角は駆動制御ユニット 2 5 内のレーザ干渉計によってリアルタイムに計測されている。この計測結果及び主制御系 2 7 からの制御情報に基づいて、駆動制御ユニット 2 5 内の駆動モータ (リニアモータ等) は、X Y ステージ 2 4 X Y の走査速度、及び位置の制御を行う。ウエハ W の回転誤差は、主制御系 2 7 及び駆動制御ユニット 2 2 を介してレチクルステージ 2 0 A を回転することで補正される。

【0 0 3 0】主制御系 2 7 は、レチクルステージ 2 0

A、及び X Y ステージ 2 4 X Y のそれぞれの移動位置、移動速度、移動加速度、位置オフセット等の各種情報を駆動制御ユニット 2 2 及び 2 5 に送る。そして、走査露光時には、レチクルステージ 2 0 A を介して紫外パルス光 I L の照明領域に対してレチクル R が +X 方向 (又は -X 方向) に速度  $V_r$  で走査されるのに同期して、X Y ステージ 2 4 X Y を介してレチクル R のパターン像の露光領域に対してウエハ W が -X 方向 (又は +X 方向) に速度  $\beta \cdot V_r$  ( $\beta$  はレチクル R からウエハ W への投影倍率) で走査される。

【0 0 3 1】また、主制御系 2 7 は、上述のレチクルブラインド機構 1 6 内に設けられている可動ブラインド 1 6 B の各ブレードの移動を走査露光時のレチクルステージ 2 0 A の移動と同期するための制御を行う。更に主制御系 2 7 は、ウエハ W 上の各ショット領域のレジストを適正露光量で走査露光するための各種露光条件を設定して、露光制御ユニット 3 0 とともに連携して最適な露光シーケンスを実行する。即ち、ウエハ W 上の 1 つのショット領域への走査露光開始の指令が主制御系 2 7 から露光制御ユニット 3 0 に発せられると、露光制御ユニット 3 0 は A r F エキシマレーザ光源 1 の発光を開始すると共に、インテグレートセンサ 9 を介して投影光学系 P L に対する入射光量の積分値を算出する。その積分値は走査露光開始時に 0 にリセットされている。そして、露光制御ユニット 3 0 では、後述のようにその入射光量の積分値より投影光学系 P L の透過率を逐次算出し、この透過率に応じて、走査露光後のウエハ W 上のレジストの各点で適正露光量が得られるように、A r F エキシマレーザ光源 1 の出力 (発振周波数、及びパルスエネルギー) 及び可変減光器 6 の減光率を制御する。そして、当該ショット領域への走査露光の終了時に、A r F エキシマレーザ光源 1 の発光が停止される。

【0 0 3 2】また、本例の Z チルトステージ 2 4 Z 上のウエハホルダ W H の近傍には光電検出器よりなる照射量モニタ 3 2 が設置され、照射量モニタ 3 2 の検出信号も露光制御ユニット 3 0 に供給されている。照射量モニタ 3 2 は、投影光学系 P L による露光領域の全体を覆う大きさの受光面を備え、X Y ステージ 2 4 X Y を駆動してその受光面を投影光学系 P L の露光領域を覆う位置に設定することで、投影光学系 P L を通過した紫外パルス光 I L の光量を計測できる。本例では、インテグレートセンサ 9 及び照射量モニタ 3 2 の検出信号を用いて投影光学系 P L の透過率を計測する。なお、照射量モニタ 3 2 の代わりに、その露光領域内での光量分布を計測するためのピンホール状の受光部を有する照度むらセンサを使用してもよい。

【0 0 3 3】本例では A r F エキシマレーザ光源 1 を用いているため、パイプ 5 内から可変減光器 6、レンズ系 7 A、7 B、更にフライアイレンズ 1 1 ~ 主コンデンサレンズ系 1 9 までの各照明光路を外気から遮断するサブ

チャンバ 35 が設けられ、そのサブチャンバ 35 内の全体には配管 36 を通して酸素含有率を極めて低く抑えた乾燥窒素ガス ( $N_2$ ) が供給される。同様に、投影光学系 PL の鏡筒内部の空間 (複数のレンズ素子間の空間) の全体にも配管 37 を介して乾燥窒素ガスが供給される。

【0034】その乾燥窒素ガスの供給は、サブチャンバ 35 や投影光学系 PL の鏡筒の気密性が高い場合は、一度大気との完全な置換が行われた後はそれ程頻繁に行う必要はない。しかしながら、光路内に存在する各種の物質 (硝材、コート材、接着剤、塗料、金属、セラミック等) から生じる水分子や炭化水素分子等が光学素子の表面に付着して起こる透過率変動を考慮すると、温度制御された窒素ガスを光路内で強制的にフローさせつつ、ケミカルフィルタや静電フィルタによってそれらの不純物分子を除去していくことも必要である。

【0035】次に、本例の投影露光装置における投影光学系 PL の透過率計測系につき図 2 を参照して説明する。投影光学系 PL の透過率計測を行う場合には、図 2 に示すように、XY ステージ 24 XY を駆動して照射量モニタ 32 の受光面が投影光学系 PL の露光領域に設定される。そして、ArF エキシマレーザ光源 1 のパルス発光が開始されて、ビームスプリッタ 8 に入射する紫外パルス光 IL の一部が反射されて、紫外パルス光 IL1 としてインテグレータセンサ 9 に入射する。これと共に、投影光学系 PL を通過した紫外パルス光 IL2 は、照射量モニタ 32 に入射し、インテグレータセンサ 9 の検出信号、及び照射量モニタ 32 の検出信号は並列に露光制御ユニット 30 に取り込まれる。

【0036】図 2 において、インテグレータセンサ 9 の検出信号は、露光制御ユニット 30 内でピークホールド (P/H) 回路 61、及びアナログ・デジタル変換器 (以下、「ADC」と呼ぶ) 62 を介して入射エネルギー  $E_i$  として直接透過率計算部 63、及び入射光量積分部 64 に供給されている。直接透過率計算部 63、入射光量積分部 64、及び後述の透過率演算部 67、制御部 69 は、本例ではそれぞれマイクロプロセッサによって実行されるソフトウェア上の機能を表すものであるが、それらの機能をそれぞれハードウェアで実現してもよいことは言うまでもない。

【0037】一方、照射量モニタ 32 の検出信号は、露光制御ユニット 30 内でピークホールド回路 65、及び ADC 66 を介して透過エネルギー  $E_o$  として直接透過率計算部 63 に供給されている。直接透過率計算部 63 では、透過エネルギー  $E_o$  を入射エネルギー  $E_i$  で除算して投影光学系 PL の透過率  $T (=E_o/E_i)$  を算出し、算出した透過率  $T$  を透過率演算部 67 に供給する。また、入射光量積分部 64 では、入射する紫外パルス光毎に入射エネルギー  $E_i$  を積分 (積算) して入射総エネルギー  $e$  を算出し、算出した入射総エネルギー  $e$  を透過率演算部 67 に供給する。入射総エネルギー  $e$  は、パル

ス発光の開始直前に 0 にリセットされている。透過率演算部 67 は、供給される透過率  $T$  を供給される入射総エネルギー  $e$  の関数 (2 次以上の高次関数、又は指数関数等)  $T(e)$  で近似し、この関数  $T(e)$  をメモリ 68 に格納する。そして、露光時に透過率演算部 67 は、入射光量積分部 64 から供給される入射総エネルギー  $e$  をそのメモリ 68 から読み出された関数  $T(e)$  に代入することによって現在の投影光学系 PL の透過率  $T(now)$  を求め、この透過率  $T(now)$  を制御部 69 に供給する。不図示であるが、制御部 69 には、ADC 62 からの入射エネルギー  $E_i$  も供給されており、制御部 69 では、その入射エネルギー  $E_i$ 、及び透過率  $T(now)$  を用いてウエハ W 上のレジストの各点での紫外パルス光の露光量が適正露光量となるように ArF エキシマレーザ光源 1 の出力、及び可変減光器 6 における減光率を制御する。

【0038】次に、本例において投影光学系 PL の透過率の変化を計測し、その計測結果に基づいて露光量制御を行いながら走査露光を行う場合の動作につき、図 3 のフローチャートを参照して説明する。その透過率の計測は、例えば投影露光装置の稼働開始時や露光動作開始時等に行われる。まず、図 3 のステップ 101 において、図 2 に示すように、照射量モニタ 32 の受光面が投影光学系 PL の露光領域に設定され、固定ブラインド 15A 及び可動ブラインド 15B の総合的な開口率が 100% に設定される。この例では、投影光学系 PL に対する入射エネルギーの最大値と透過率との関係を求めるのが目的であるため、レチクル R がレチクルステージ 20A から取り外され、レチクルステージ 20A の走査も行われない。そして、ArF エキシマレーザ光源 1 のパルス発光が開始される。

【0039】それに続くステップ 102 において、図 2 の露光制御ユニット 30 ではインテグレータセンサ 9 及び照射量モニタ 32 の出力信号を並列に取り込むことによって、投影光学系 PL に実際に入射するエネルギーに対応する入射エネルギー  $E_i$ 、及び投影光学系 PL を実際に通過するエネルギーに対応する透過エネルギー  $E_o$  が生成される。そして、パルス発光毎に、図 2 の入射光量積分部 64 では、入射エネルギー  $E_i$  を積分してそれまでの入射総エネルギー  $e$  を算出し、直接透過率計算部 63 では透過率  $T (=E_o/E_i)$  を算出する。この動作は計測終了までパルス発光毎に連続的に実行される。なお、露光光が連続光であれば、ピークホールド回路 61、65 の代わりにサンプルホールド回路を使用して、入射光量積分部 64 では検出信号を所定のサンプリングレートで順次積算すればよく、直接透過率計算部 63 では所定の時間間隔で透過率  $T$  を算出すればよい。

【0040】次に、ステップ 103 において、露光制御ユニット 30 内の透過率演算部 67 では、例えば 1 ショットの露光時間に対して十分短い間隔になるような計測

間隔で、各計測時点での入射総エネルギー  $e$ 、及び透過率  $T$  を取り込む。次のステップ 104 では、計測終了かどうか判定されるが、計測終了時の入射総エネルギー  $e$  が 1 ショットの露光の間に蓄積される入射総エネルギーに対して十分大きくなるように計測時間が設定されている。計測時間は、一例として数  $\text{sec}$  ～ 数 10  $\text{sec}$  である。そして、ステップ 103 の透過率演算部 67 による計測データの取り込み動作（計算動作）を所定の計測間隔で繰り返して、所定の計測時間が経過した後、動作はステップ 104 からステップ 105 に移行して、透

過率演算部 67 では、一連の入射総エネルギー  $e$  の関数として投影光学系 PL の透過率  $T(e)$  を求めてメモリ 68 に格納する。これは、入射エネルギー  $E_i$  に対する投影光学系 PL の透過率変化の状態を記憶するのと等価である。その透過率の関数  $T(e)$  は走査露光中のステップ 109 で使用される。

【0041】その後、走査露光を行う場合、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置ではステップ・アンド・リピート方式とは異なり、露光量制御を走査速度と露光光源の光量制御（可変減光器 6 の減光率制御を含む）との両方を用いて行うことが行われる。即ち、ウエハ上の 1 点について考えると、その点が投影光学系 PL によるスリット状の露光領域を通過する時間中に、レジスト感度等から定まる所定の露光量がその点に対して照射されるようにウエハステージ 24 の走査速度及び露光光源の光量を制御する。

【0042】ここで、ArF エキシマレーザ光源 1 の単位時間当たりの出力（即ち、発振周波数  $\times$  パルスエネルギー）の基準値を  $E_0$  [W] とする。更に、以下ではその出力は可変減光器 6 での減光率を乗じた値とする。そ

して、投影光学系 PL の初期透過率を  $T_0$ 、スリット状の露光領域の面積を  $S$  [ $\text{cm}^2$ ]、その露光領域の走査方向の長さを  $L$  [mm]、レジスト感度を  $I$  [ $\text{J}/\text{cm}^2$ ] とすると、走査露光時のウエハステージ 24 の走査速度の初期値  $V_{w0}$  [mm/sec] は、次のようになる。

【0043】

$$V_{w0} = (L \cdot E_0 \cdot T_0) / (I \cdot S) \quad (1)$$

走査露光開始直後には、ウエハステージ 24 がその走査速度となるように、レチクル R とウエハ W との相対的な位置関係を維持しつつ走査が行われる。即ち、走査露光が開始されると、図 3 のステップ 106 において、図 1 に示すようにレチクルステージ 20A 上にレチクル R が載置され、ウエハステージ 24 上のウエハホルダ WH にレジストが塗布されたウエハ W がロードされる。そして、露光制御ユニット 30 内で入射総エネルギー  $e$  が 0 にリセットされた後、レチクルステージ 20A 及びウエハステージ 24 の走査が開始され、走査の同期が取られた時点で ArF エキシマレーザ光源 1 のパルス発光が開始され、インテグレートセンサ 9 の検出信号の露光制御

ユニット 30 への取り込みも開始される。その後、次第に可動ブラインド 15B が開いてレチクル R のパターン像のウエハ W 上の当該ショット領域への転写が開始される。固定ブラインド 15A、及び可動ブラインド 15B の総合的な開口率の情報は、図 2 の入射光量積分部 64 に供給されている。

【0044】そして、ステップ 107 において、パルス発光毎に図 2 のインテグレートセンサ 9、ピークホールド回路 61、及び ADC 62 を介して入射エネルギー  $E_i$  が計測され、この入射エネルギー  $E_i$  が順次入射光量積分部 64 に供給される。それに続くステップ 108 において、入射光量積分部 64 では、パルス発光毎に供給される入射エネルギー  $E_i$  にそのときの開口率を乗じて得られるエネルギーを積算してそれまでの入射総エネルギー  $e$  を求め、この露光開始からの入射総エネルギー  $e$  を透過率演算部 67 に供給する。次のステップ 109 において、透過率演算部 67 では、メモリ 68 から読み出した透過率を表す関数  $T(e)$ （即ち、透過率データ）にその入射総エネルギー  $e$  を代入して、所定の時間間隔で現在の投影光学系 PL の透過率  $T(\text{now})$  を算出し、算出した透過率  $T(\text{now})$  を制御部 69 に供給する。この計算の頻度は、1 ショットの露光時間に対して十分短くなるようにする。即ち、1 ショットの露光時間中において、複数回にわたって投影光学系 PL の透過率計算を繰り返し、常にほぼリアルタイムで現時点での透過率を求めるようにする。

【0045】次のステップ 110 で、制御部 69 は、供給された透過率  $T(\text{now})$  に基づいて紫外パルス光 IL の出力を制御する。ここでは、ウエハステージ 24 の走査速度  $V_w$  を (1) 式の  $V_{w0}$  から変化させないものとする、ウエハ W 上の各点での露光量を一定にするためには、紫外パルス光 IL のウエハ W の表面（ウエハ面）での照度（単位時間当たり、単位面積当たりのエネルギー）を一定にすればよい。即ち、投影光学系 PL の透過率  $T(\text{now})$  の変化を相殺するように（その透過率  $T(\text{now})$  に反比例させて）、ArF エキシマレーザ光源 1 の出力を変化させればよい。具体的に、そのようにして求めた或る時点  $t$  における投影光学系 PL の透過率  $T(\text{now})$  の値を  $T_t$ 、投影光学系 PL の初期透過率を  $T_0$ 、ArF エキシマレーザ光源 1 の出力の基準値（初期値）を  $E_0$  とし、ウエハ面での紫外パルス光 IL の照度を一定にするための ArF エキシマレーザ光源 1 の目標出力を  $E_t$  とすると、 $E_t$  は以下のように求められる。

$$E_t = E_0 \times (T_0 / T_t) \quad (2)$$

そこで、制御部 69 は、可変減光器 6 を通過する紫外パルス光 IL の出力が (2) 式より求めた目標出力  $E_t$  となるように、ArF エキシマレーザ光源 1 の出力（発振周波数、及びパルスエネルギー）、又は可変減光器 6 での減光率を制御する。次に、ステップ 111 で走査露光

が終了していないときには、動作は再びステップ 107 ~ 110 に戻って所定の時間間隔で投影光学系 P L の透過率の計算、紫外パルス光 I L の目標出力 E<sub>i</sub> の計算、及び A r F エキシマレーザ光源 1 の出力制御が行われる。そして、走査露光が終了したときには、動作はステップ 111 からステップ 112 に移行して、A r F エキシマレーザ光源 1 の発光が停止され、1 ショット分の露光が終了した後（ステップ 113）、次のショット領域への露光動作が開始される（ステップ 114）。次のショット領域の露光開始時には、投影光学系 P L の透過率はステップ 106 での初期透過率にほぼ回復しているものとして透過率の計算が開始される。

【0047】このように本例によれば、インテグレータセンサ 9 を介して計測される投影光学系 P L への入射エネルギーの積分値に基づいて投影光学系 P L の透過率をほぼリアルタイムで計測し、この計測結果に基づいてウエハ面での紫外パルス光 I L の照度が一定になるように A r F エキシマレーザ光源 1 の出力を制御しているため、投影光学系 P L の透過率が変化する場合でもウエハ W 上の各ショット領域の全面を適正露光量で露光できる。

【0048】なお、上述の実施の形態では、投影光学系 P L の透過率に応じて A r F エキシマレーザ光源 1 の出力を制御しているが、(1) 式より分かるように、露光光源の出力 E<sub>i</sub> が一定であれば、投影光学系 P L の透過率 T とウエハステージ 24 の走査速度 V<sub>w</sub> とは比例する関係にある。そこで、投影光学系 P L の透過率 T

(now) が変化した場合には、露光光源の出力を一定にしておいて、透過率 T (now) に比例してウエハステージ 24 の走査速度を制御してもよい。但し、この制御は、走査速度がステージ系で定まる上限に達しない範囲で行うことができる。

【0049】次に、本発明の第 2 の実施の形態につき説明する。本例でも図 1 の投影露光装置を使用するが、投影光学系 P L の透過率の変化の計測方法が異なっている。そこで、本例における投影光学系 P L の透過率の変化の計測動作、及び走査露光動作につき、図 4 のフローチャートを参照して説明する。本例では投影光学系 P L の透過率変化を計測する際に、実際に露光するレチクル R を使用してこれを実際の露光時と同様に走査させる。この計測の際の図 1 のレチクルステージ 20 A (レチクル R) の走査速度を V<sub>r</sub>、A r F エキシマレーザ光源 1 の出力を E<sub>i</sub> として、それらの実際の走査露光時の走査速度を V<sub>r</sub>、出力を E<sub>i</sub> とすると、これらの間には以下の関係が成り立つようにする。

【0050】 $V_r / E_i = V_w / E_o$  (3)

即ち、走査開始から或る任意の位置までレチクル R を走査する間に投影光学系 P L に入射する総光量が、計測時と走査露光時とで同一になるようにする。当然ながら、 $V_r = V_w$  となるのが望ましい。なお、この計測の際、

図 2 の投影光学系 P L に実際に入射する光量は、インテグレータセンサ 9 で計測される入射エネルギー E<sub>i</sub> にレチクル R のパターン透過率 (= 照明領域内の透過部の面積 / レチクル R 上の照明領域の面積) を掛け合わせた光量である。なお、パターン透過率は 1 からパターン存在率を差し引いた値でもあるため、このパターン存在率を使用してもよい。また、照射量モニタ 32 を介して計測される透過エネルギー E<sub>o</sub> は、入射する光量にレチクル R のパターン透過率と、投影光学系 P L の透過率とを掛け合わせたものとなる。ここで、パターン透過率はレチクル R の設計データよりレチクル R の位置 X の関数として既知であり、求める対象は投影光学系 P L の透過率である。そこで、インテグレータセンサ 9 を介して計測される入射エネルギー E<sub>i</sub>、照射量モニタ 32 を介して計測される透過エネルギー E<sub>o</sub> を用いて、レチクル R のパターン透過率を位置 X の関数 T<sub>R</sub>(X)、投影光学系 P L の透過率を T とすれば、以下の式より投影光学系 P L の透過率 T が求まる。より正確には、そのパターン透過率の関数 T<sub>R</sub>(X) には、固定ブラインド 15 A 及び可動ブラインド 15 B の総合的な開口率が乗じられている。

【0051】

$$T = (1 / T_R(X)) \times (E_o / E_i) \quad (4)$$

そこで、先ず図 4 のステップ 121 において、図 2 に示すように、投影光学系 P L の露光領域に照射量モニタ 32 の受光面が設定され、レチクルステージ 20 A 上にレチクル R が載置され、レチクルステージ 20 A は走査開始位置に移動する。次のステップ 122 において、図 1 の主制御系 27 によって例えば不図示のホストコンピュータよりレチクル R の設計データ (レチクルデータ) が呼び出され、レチクル R の走査方向の位置 X に対応するパターン透過率 T<sub>R</sub>(X) が算出される。その後、ステップ 123 において、主制御系 27 の指令によって実際の露光時と同様にレチクルステージ 20 A (レチクル R) の走査が開始され、A r F エキシマレーザ光源 1 の発光も開始される。レチクル R は + 方向、又は - X 方向に走査終了位置まで走査される。

【0052】そして、ステップ 124 で、駆動制御ユニット 22 を介して計測されたレチクルステージ 20 A の位置 X が主制御系 27 に供給され、パルス発光毎にインテグレータセンサ 9 を介して計測される入射エネルギー E<sub>i</sub> が直接透過率計算部 63、及び入射光量積分部 64 に供給され、照射量モニタ 32 を介して計測される透過エネルギー E<sub>o</sub> が直接透過率計算部 63 に供給される。次のステップ 125 において、主制御系 27 は、レチクルステージ 20 A の位置 X よりパルス発光の周期より短い周期で現在のパターン透過率 T<sub>R</sub>(X) を算出し、算出結果を直接透過率計算部 63、及び入射光量積分部 64 に供給する。入射光量積分部 64 では、パルス発光毎に入射エネルギー E<sub>i</sub> にそのパターン透過率 T<sub>R</sub>(X)



を乗じた値を積分（積算）して入射総エネルギー  $e$  を算出して透過率演算部 67 に供給し、直接透過率計算部 63 では、入射エネルギー  $E_i$ 、及び透過エネルギー  $E_o$  を（４）式に代入して投影光学系 PL の透過率  $T$  を計算し、計算結果を透過率演算部 67 に供給する。次のステップ 126 で計測終了となるまで、即ちレチクル R が走査終了位置まで移動するまで、所定の時間間隔でステップ 125 の動作が繰り返され、計測が終了したときにステップ 127 に移行して、透過率演算部 67 では、投影光学系 PL の透過率  $T$  を入射総エネルギー  $e$  の関数  $T(e)$  として求め、この関数  $T(e)$  をメモリ 68 に格納する。

【0053】その後、実際に走査露光を行う場合には、ステップ 128 において、図 3 のステップ 106 と同様に、図 1 に示すようにレチクル R 及びウエハ W の走査が開始されて、ArF エキシマレーザ光源 1 の発光が開始される。そして、ステップ 129 において、所定周期で駆動制御ユニット 22 によりレチクル R の位置 X の計測が行われ、パルス発光毎にインテグレータセンサ 9 による入射エネルギー  $E_i$  の計測が行われる。そして、レチクル R の位置 X より算出されるパターン透過率  $T_R(X)$

(X) が図 2 の入射光量積分部 64 に供給され、入射光量積分部 64 は入射エネルギー  $E_i$  にそのパターン透過率  $T_R(X)$  を乗じた値を積分して入射総エネルギー  $e$  を計算し、計算結果を透過率演算部 67 に供給する。ステップ 130 において、透過率演算部 67 では、ステップ 127 でメモリ 68 に記憶された関数  $T(e)$  にその入射総エネルギー  $e$  を代入して現在の投影光学系 PL の透過率  $T(now)$  を算出し、算出結果を制御部 69 に供給する。そして、制御部 69 では、ステップ 131 において、ステップ 110 と同様に投影光学系 PL の透過率の変動を相殺してウエハ W 上での紫外パルス光 IL の照度が一定となるように、ArF エキシマレーザ光源 1 の出力、又は可変減光器 6 の減光率を制御する。その後のステップ 132～135 はステップ 111～114 と同様であり、当該ショット領域への走査露光、及び次のショット領域への露光準備が行われる。

【0054】この例によれば、レチクルのパターン透過率も考慮しているため、実際の走査露光時の投影光学系 PL の透過率の変動をより高精度に検出できる。従って、露光量の制御精度も向上している。なお、上記の例では透過率計測時にはレチクル R は任意の方向に走査されるものとしているが、走査方向によって投影光学系 PL の透過率を表す関数  $T(e)$  の形が微妙に変化する恐れもある。そこで、走査方向毎にその関数  $T_1(e)$ 、 $T_2(e)$  を求めておき、走査露光時には走査方向に応じてその関数  $T_1(e)$ 、 $T_2(e)$  を使い分けるようにしてもよい。これによって、レチクルのパターン透過率が対称でない場合や、レチクルの基板自体の透過率が対称でない場合等にも、高精度に露光量制御が行われ

る。

【0055】次に、本発明の第 3 の実施の形態につき説明する。本例でも図 1 の投影露光装置を使用するが、本例では紫外パルス光 IL の照射停止後の投影光学系 PL の透過率の変動をも計測する。即ち、上記の第 1 及び第 2 の実施の形態においては、投影光学系 PL の透過率が紫外パルス光 IL の照射停止後に直ちに初期の状態に戻るという前提で、単純に 1 回の走査露光毎の照射のみ考慮して投影光学系 PL の透過率の変化を求めている。しかし、紫外パルス光 IL の照射停止後の回復速度によっては或るショットの露光終了後、次のショットの露光開始までに透過率が初期状態まで十分回復しないことがあり得る。特に、低感度レジストが使用されている場合には、大きな露光量を必要とするために透過率の変化が大きくなって、ショット間で透過率が初期状態まで回復しにくくなり、投影露光装置のスループットの向上を図るためにショット間のステッピング時間等を短縮する場合にも、ショット間での透過率の回復が不十分となる恐れがあるため、紫外パルス光 IL の照射停止後の透過率変動を考慮する必要がある。

【0056】そこで、本例における投影光学系 PL の透過率の変化の計測動作、及び走査露光動作につき、図 5 のフローチャートを参照して説明する。本例では、先ず図 5 のステップ 141～145 において、第 1 の実施の形態のステップ 101～105 と同様に（第 2 の実施の形態のステップ 121～127 と同様でもよい）、紫外パルス光 IL の照射中の投影光学系 PL の透過率の変化を計測し、入射総エネルギー  $e$  の関数としてその透過率  $T(e)$  を求めてメモリ 68 に記憶する。次に、ステップ 147～150 において、照射をしない場合の投影光学系 PL の透過率の変化を計測して経過時間の関数で表す。

【0057】具体的に、ステップ 146 で投影光学系 PL に例えば想定される最大の露光量に所定のマージンを加えた露光量が照射された状態で、ArF エキシマレーザ光源 1 の発光を停止する。その後、ステップ 147 で発光停止からの経過時間  $t$  を計測し、所定の時間間隔でステップ 148 において、図 2 の ArF エキシマレーザ光源 1 に瞬間的に最小パルス数の発光を行わせて、直接透過率計算部 63 において、透過エネルギー  $E_o$  及び入射エネルギー  $E_i$  より投影光学系 PL の透過率  $T(=E_o/E_i)$  を算出し、この透過率  $T$  を透過率演算部 67 に供給する。この透過率の計測を所定回数繰り返し、計測が終了したときに動作はステップ 149 からステップ 150 に移行して、透過率演算部 67 では、投影光学系 PL の透過率  $T$  を紫外パルス光 IL の発光停止からの経過時間  $t$  の関数  $T(t)$  として近似し、この関数  $T(t)$  をメモリ 68 に記憶する。その関数  $T(t)$  としては、予め係数を未定とした経過時間  $t$  の 2 次以上の関数、又は指数関数等を使用できる。

【0058】図6の曲線70Cは、紫外パルス光ILの照射停止後の投影光学系PLの透過率 $T (=E_o/E_i)$ の変化の一例を示し、この図6の横軸は照射停止からの経過時間 $t$  (hour)で、縦軸は透過率 $T$  (相対値)である。また、曲線70Aは、透過率計測用に瞬間的に供給される入射エネルギー $E_i$  (相対値)を示し、曲線70Bは、その入射エネルギー $E_i$ に対応して計測される透過エネルギー $E_o$  (相対値)を示している。その曲線70Cより分かるように、紫外パルス光ILの照射停止後には、投影光学系PLの透過率 $T$ は一度大きく回復した後、次第に低下している。メモリ68には、その曲線70Cを近似した経過時間 $t$ の関数 $T(t)$ が記憶される。

【0059】その後の走査露光時には、図1の主制御系27から図2の透過率演算部67に対して紫外パルス光ILの照射中か、又は例えばショット間のステッピング中で紫外パルス光ILの照射が中断されているかを示す情報が供給される。又は、透過率演算部67では、ADC62からの入射エネルギー $E_i$ の有無によって照射中かどうかを判定してもよい。このようにして、図5のステップ151において、透過率演算部67では、紫外パルス光ILが照射中かどうかを判定し、照射中であるときには、ステップ152において、所定の時間間隔で入射光量積分部64からの入射総エネルギー $e$ を取り込み、ステップ153において、この入射総エネルギー $e$ 、及びステップ144でメモリ68に記憶された関数 $T(e)$ より投影光学系PLの現在の透過率 $T(now)$ を求める。そして、以下のステップ154で図3のステップ110と同様にその透過率 $T(now)$ の変化を相殺するように紫外パルス光ILの出力を制御し、以下ステップ155で走査露光が終了するまで、ステップ152～154の動作が繰り返される。

【0060】その後、ステップ155で走査露光が終了し、ステップ159で1つのショット領域への露光が終了すると、ステップ160で全部のショット領域への露光が終了したかどうか判定され、露光が終了していないときには、ステップ151に戻る。この場合には、ウエハステージ24が次のショット領域を走査開始位置に移動するためにステッピング中であり、紫外パルス光ILの照射は中断しているため、動作はステップ151からステップ156に移行して、透過率演算部67は先ずその時点で入射光量積分部64から供給されている入射総エネルギー $e$ 、及びステップ145で記憶された関数 $T(e)$ より、現在の投影光学系PLの透過率 $T_A$ を計算する。そして、次のショット領域への走査露光が始まる直前にステップ157において、透過率演算部67は、紫外パルス光ILの照射中断からこれまでの経過時間 $t$ 、及びステップ150で記憶された関数 $T(t)$ より現在の投影光学系PLの透過率 $T_B$ を算出する。この場合、経過時間 $t$ が0での透過率 $T(0)$ の値を $T_C$ と

すると、ステップ158において、透過率演算部67では、一例として次式より現在の投影光学系PLの実際の透過率 $T(now)$ を算出する。

$$T(now) = T_A \cdot T_B / T_C \quad (5)$$

そして、次のショット領域への走査露光が開始されて動作がステップ151からステップ152に移行したときには、投影光学系PLの透過率の初期値を(5)式で定まる値として、露光量制御を行う。このようにして各ショット領域への走査露光が行われ、ステップ160で全部のショット領域への露光が終了したときにステップ161で露光動作が終了する。

【0062】このように本例によれば、ショット間で紫外パルス光ILの照射が中断されている際の投影光学系PLの透過率の変動も考慮されるため、より高精度にウエハW上の各ショット領域への露光量が制御される。次に、図5の走査露光を実際にウエハW上に回路パターンを形成する工程で用いる場合の動作の一例につき、図7のフローチャートを参照して説明する。先ず、図7のステップ171において、図1のレチクルステージ20A上にレチクルRがロードされる。次のステップ172において、露光対象のウエハ(ウエハWとする)上に金属膜を蒸着し、ステップ173において、そのウエハW上の金属膜上にレジストを塗布した後、ウエハWを図1の投影露光装置のウエハステージ24上にロードする。次に、ステップ174において、図5のステップ151～161までの動作と同様に、投影光学系PLの透過率の変化を相殺するように、即ちウエハW上での紫外パルス光ILの照度が一定となるように紫外パルス光ILの光量を制御しながら、レチクルRのパターン像を走査露光方式でウエハW上の各ショット領域に露光する。

【0063】その後、ステップ175において、ウエハW上のレジストの現像を行い、ステップ176でそのレジストパターンをマスクとしてウエハW上の金属膜のエッチングを行った後、レジストパターンを除去することによって、所望の回路パターンがウエハW上の各ショット領域に形成される。その後、ウエハWは次のレイヤの回路パターンの形成工程に移行する。この際に本例では、ウエハW上の各ショット領域で最適な露光量が得られているため、ウエハW上の各ショット領域に所望の回路パターンが高い転写忠実度で形成される。

【0064】なお、上記の実施の形態は、本発明をステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に適用したものであるが、本発明はステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置(ステッパ)で露光する場合にも適用することができる。ステッパの場合には、例えば図3のステップ110及び111に対応する工程で、ウエハ上の当該ショット領域への積算露光量が所定の値になるように露光時間が制御される。

【0065】なお、本発明は上述の実施の形態に限定さ



れず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

#### 【0066】

【発明の効果】本発明の投影露光装置によれば、露光エネルギービームの照射開始からの投影光学系の透過率変化が照射量に応じてほぼ一定の変化量を示すことを利用して、予めこの透過率変化を計測して記憶している。そして、実際の露光時には投影光学系に入射する露光エネルギービーム量から投影光学系の透過率の変化を推定し、この透過率の変化に応じて露光量を制御しているため、投影光学系の透過率変動によって発生する基板上での照度変動（又はパルスエネルギー変動）に起因した露光量の制御精度の劣化を防止できる利点がある。

【0067】また、露光中の基板面上での露光量を計測するような新規のセンサーを追加する必要がなく、基板側のステージ付近のスペースの制約を受けることがない。この場合、透過率特性記憶部は、投影光学系の透過率の総入射エネルギー量に対する変化率の他に、露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に対する投影光学系の透過率の変化率を記憶し、演算系は、透過率特性記憶部に記憶されている透過率の2種類の変化率、入射エネルギー量積算系の出力、及び露光エネルギービームの照射を中断した後の経過時間に基づいて逐次投影光学系の透過率を算出するときには、露光エネルギービームの照射の中断後に投影光学系の透過率が十分に回復しない場合でも、その投影光学系の透過率の変化を正確に推定できる。

【0068】また、本発明をステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光方式の投影露光装置に適用した場合、走査露光方式では、投影光学系の透過率変動に応じて例えば基板面で一定の照度が得られるように露光量を制御することで、良好な露光量制御精度が得られる。次に、本発明の露光方法によれば、走査露光方式の投影露光装置を用いて、投影光学系の透過率の変化の計測時に実際にマスクを使用した状態での透過率を計測することによって、マスクのパターン密度の違いによる入射エネルギー量の変動によって投影光学系の透過率変化を誤計測することが防止され、露光量制御精度を向上させることができる。

【0069】また、本発明の回路デバイスの製造方法によれば、本発明の投影露光装置を用いて高い転写忠実度

で回路パターンを基板上に形成できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態で使用される投影露光装置を示す概略構成図である。

【図2】本発明の実施の形態で投影光学系 P L の透過率の計測を行うために、照射量モニタ 3 2 を投影光学系 P L の露光領域に移動した状態を示す一部機能ブロック図を含む構成図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態における投影光学系 P L の透過率計測動作、及び露光動作を示すフローチャートである。

【図4】本発明の第2の実施の形態における投影光学系 P L の透過率計測動作、及び露光動作を示すフローチャートである。

【図5】本発明の第3の実施の形態における投影光学系 P L の透過率計測動作、及び露光動作を示すフローチャートである。

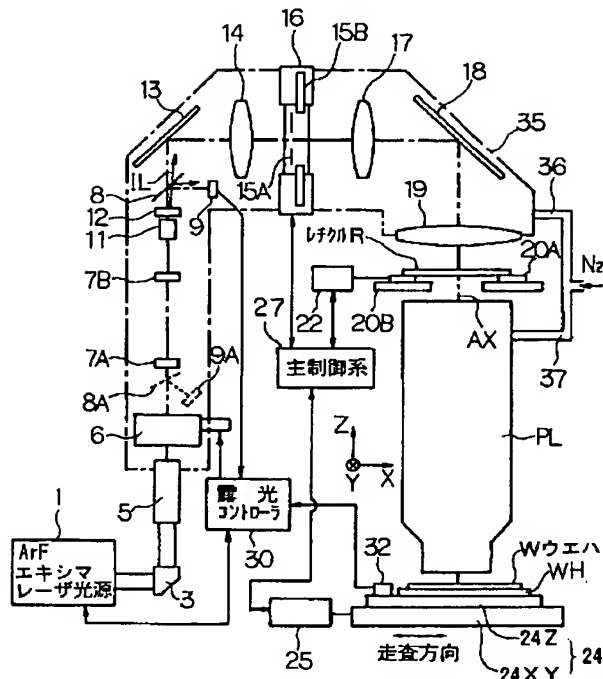
【図6】その第3の実施の形態で計測される紫外パルス光の照射停止以後の投影光学系 P L の透過率の変化の一例を示す図である。

【図7】その第3の実施の形態において回路パターンを形成する工程の一例を示すフローチャートである。

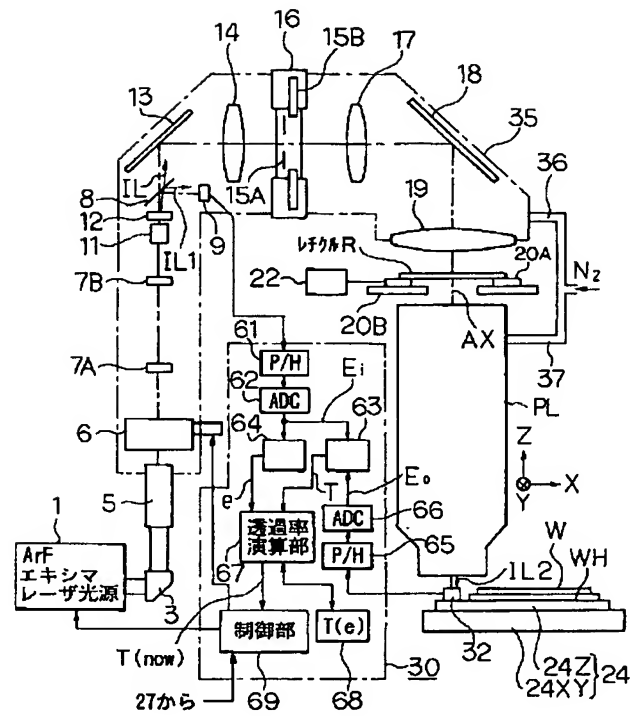
#### 【符号の説明】

1 A r F エキシマレーザ光源  
1 1 フライアイレンズ  
8 ビームスプリッタ  
9 インテグレートセンサ  
1 6 レチクルブラインド機構  
R レチクル  
P L 投影光学系  
W ウエハ  
2 0 A レチクルステージ  
2 4 ウエハステージ  
2 7 主制御系  
3 0 露光制御ユニット  
3 2 照射量モニタ  
6 3 直接透過率計算部  
6 4 入射光量積分部  
6 7 透過率演算部  
6 8 メモリ  
6 9 制御部

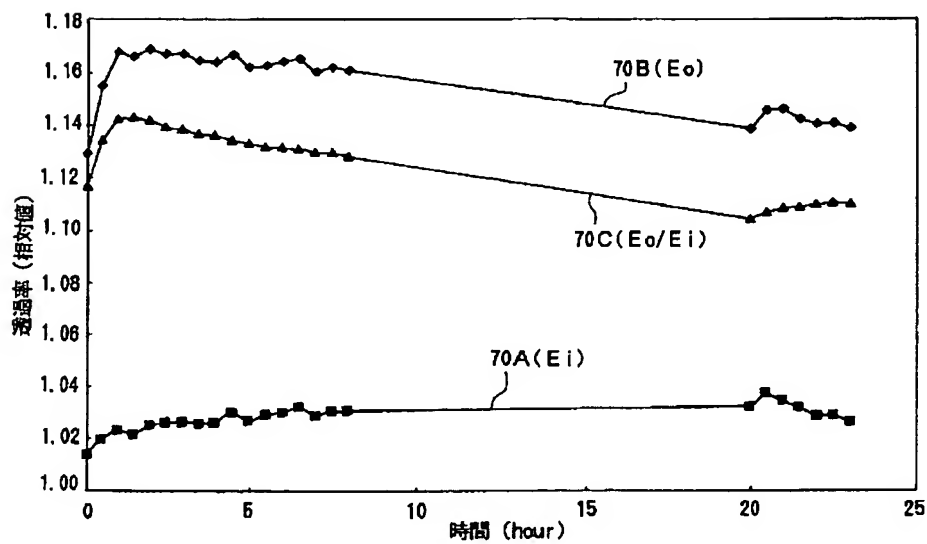
【図1】



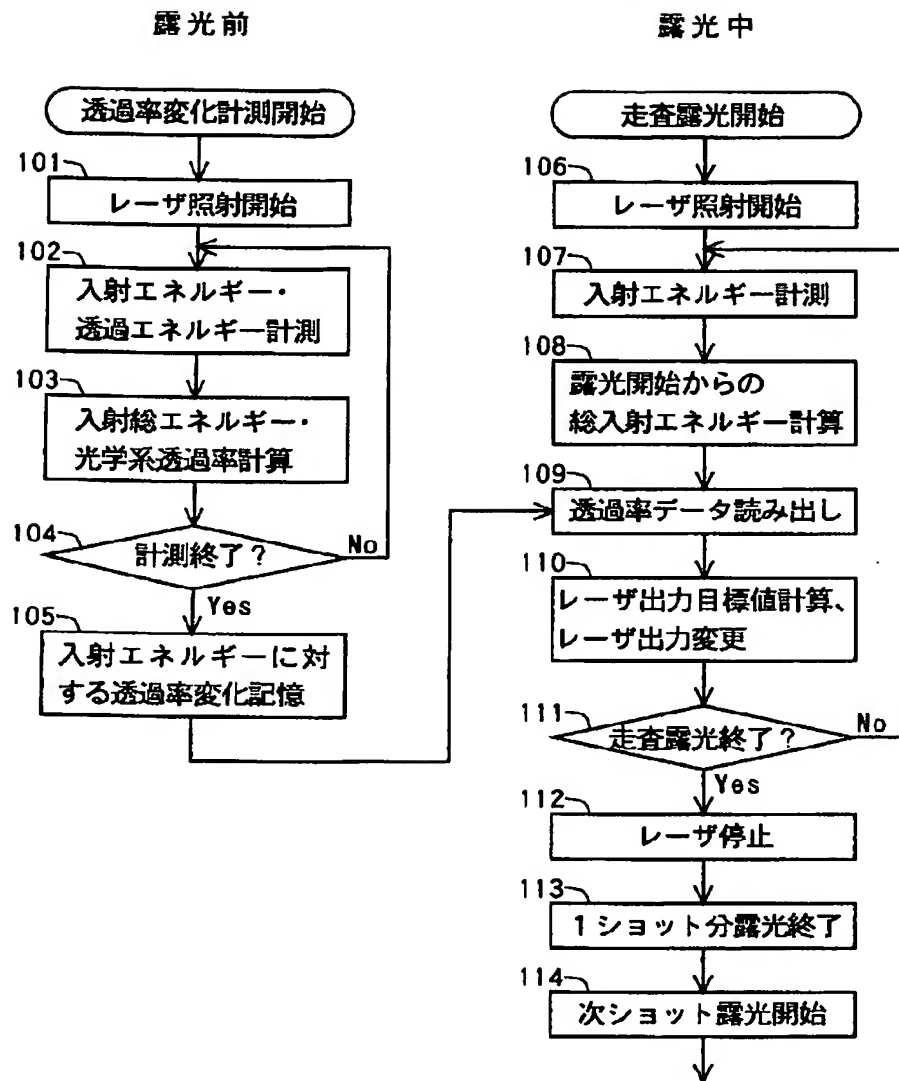
【図2】



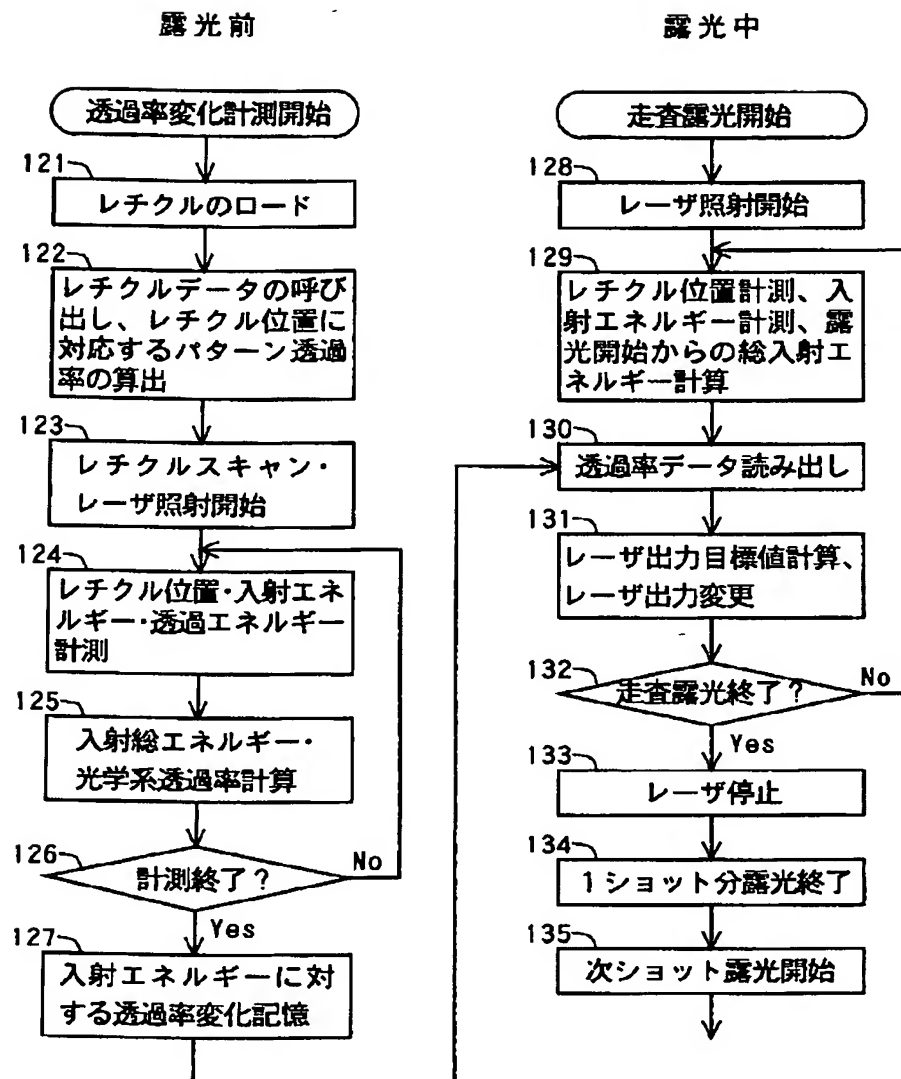
【図6】



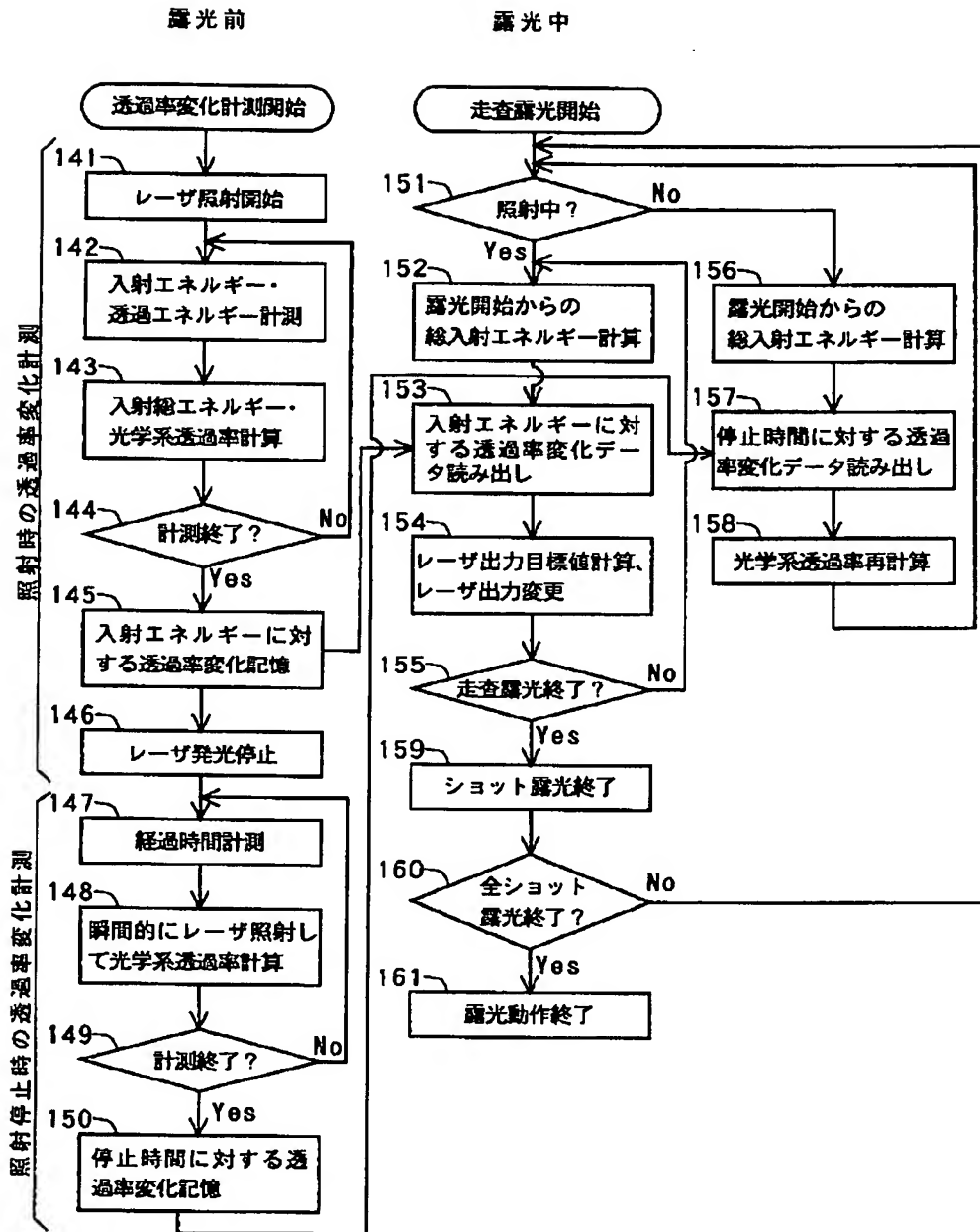
【図3】



【図4】



【図5】



【図7】

